

Vesa Vuori

**Kitkavoiman mittauslaitteiston suunnittelu ja
valmistaminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Vesa Vuori

Työn nimi: Kitkavoiman mittausrakenteiden suunnittelu ja valmistaminen

Ohjaaja: Markku Kärkkäinen

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 53

Liitteiden lukumäärä: 0

Mäntäpaineakkujen tuotannossa on käytössä useilta eri tiivistevalmistajilta tulevia tiivisteitä ja useita eri tiivistetyyppejä. Tiivisteiden tyypit ja materiaali vaihtelevat eri olosuhteissa käytettäväksi tarkoitetuissa paineakuissa. Tiivisteiden eri ominaisuuksista ja laadun tasaisuudesta ei ole paljon tietoa eikä paineakkujen valmistajalla ole käytettävissä menetelmää kitkaominaisuuksien tutkimiseen. Kitkavoiman suuruus eri olosuhteissa vaikuttaa merkittävästi kelluvan männän liikkumiseen ja tämän myötä mäntäpaineakun sulavaan toimintaan.

Opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää menetelmä, jolla kitkavoiman suuruutta olisi mahdollista tutkia yrityksen käyttämällä eri tiivistemateriaaleilla ja erikokoisilla tiivisteillä. Tutkimusmenetelmän kehittämisen jälkeen oli tarkoitus valmistaa tutkimukseen soveltuva laitteisto, jolla pystyttiin tutkimaan kitkavoimia eri tiivisteillä, erikokoisilla sylinteriputkilla ja erilaisissa olosuhteissa. Männän liikenopeutta haluttiin myös pystyä muuttelamaan ja keräämään tiedot kätevästi sähköiseen muotoon.

Tutkimustuloksista käy ilmi että männän liikenopeudella sylinteriputkessa, männän koolla ja öljyn määrällä on olennainen vaikutus kitkavoiman suuruuteen. Liikenopeudessa 6 mm/s kasvun havaittiin laskevan kitkavoiman arvoa noin 10 - 20 Newtonia mittauskokoontalon riippuen. Lämpötilan muutoksen vaikutuksia tutkiessa voitiin todeta, että suurempi halkaisijaosissa sylinteriputkissa lämpötilan vaikutus männäntiivisteiden kitkavoimaan korostui. 80 mm:n sylinteriputkilla normaaliolosuhteissa käytettävä tiiviste osoittautui matalampi kitkaiseksi kuin vastaava pakkasolosuhteisiin tarkoitettu. Viimeisessä testissä tutkittiin männän halkaisijan vaikutusta kitkavoiman muutokseen. Oletusten mukaisesti kitkavoima kasvoi myös sylinteriputken halkaisijan kasvaessa. Keskimääräisesti eroa 50 mm:n ja 80 mm:n sylinteriputkilla kitkavoimassa on noin 35 Newtonia.

Avainsanat: kitka, mäntäpaineakku, voima-anturi, venymäliuska, hydraulikka

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Machine Automation

Author: Vesa Vuori

Title of thesis: Designing and manufacturing of friction measuring device

Supervisor: Markku Kärkkäinen

Year: 2013 Number of pages: 53 Number of appendices: 0

In piston accumulator manufacturing many different gasket suppliers and different gasket types are used. The type and material of gaskets varies according to the conditions where the piston accumulator is designed to be used. There is not much information available about the characteristics and homogeneity of the gaskets and the manufacturer does not have the technology to examine the friction properties. The friction rate affects significantly to the functionality of the floating piston in different conditions and, therefore, it has an effect on the smooth operability of the piston accumulators.

The purpose of the thesis was to develop a method for the manufacturer to measure and instrument the friction of gaskets made of different materials and in different sizes. After developing a suitable examination method, it was considered to manufacture an adequate setup for measuring the friction properties of gaskets of different sizes and types in various conditions. For different measures the velocity of the piston had to be adjustable and collecting the measured data to the computer had to be convenient.

The results of the examination revealed that the velocity of the piston in the cylinder, the size of the piston and the amount of oil have a significant influence on the friction force. Examination reveals that a 6 mm/s increase in piston velocity decreases the friction force about 10 - 20 Newtons depending on the examination setup. Examination about friction changes in different temperature conditions reveals that the temperature affects friction more with bigger cylinders. 80 mm cylinders with gaskets for normal conditions have lower friction compared to the same size gaskets for arctic conditions. In the last examination it was tested how much different cylinder sizes affect friction. The presumption was confirmed as the friction force increased along with the growing cylinder size. The divergence in friction force was in average 35 Newtons with cylinders between 50 mm and 80 mm.

Keywords: friction, piston accumulator, load-cell, strain gauge, hydraulics

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO	6
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	8
1 Johdanto	9
1.1 Yritysesittely	9
1.2 Työn tausta	9
1.3 Työn tavoite	10
1.4 Työn rakenne	10
2 Voiman mittaamisen teoria.....	11
2.1 Yleistä mittauksesta	11
2.1.1 Mekaaninen mitta.....	11
2.1.2 Pietsosähköinen anturi.....	12
2.1.3 Kapasitiivinen mitta.....	12
2.1.4 Venymäliuskamitta.....	13
2.1.5 Wheatstonen siltakytke.....	14
2.1.6 Epätarkkuus	15
2.1.7 Venymäliuskatyypit	16
3 Hydraulisen energian varastointi	18
3.1 Periaatteet.....	18
3.2 Paineakut	18
3.3 Paineakkurakenteet	19
3.3.1 Rakkoakku	19
3.3.2 Kalvoakku	20
3.3.3 Sylinterimäinen mäntäakku	21
4 Yleistä kitkasta	22
5 Kitkavoiman testilaitteisto.....	26
5.1 Suunnittelun aloitus.....	26
5.2 Voiman mittaaminen	28
5.3 Mittausanturi	28
5.4 Mittausdatan tutkiminen	30
5.5 Vetokone.....	31

5.7 Testauspenkki	33
6 Mittaaminen	35
6.1 Mittaustulosten tarkkuus	36
7 Mittaustulokset	38
7.1 Mittaus 1: Vetonopeuden vaikutus kitkaan	39
7.2 Mittaus 2: Lämpötilan vaikutus kitkaan eri tiivisteillä	42
7.3 Mittaus 3: Paineakun halkaisijan vaikutus kitkavoimaan	45
8 Mittausten yhteenveto	48
9 Projektin yhteenveto	50
LÄHTEET	52

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Hydroll Oy:n logo	9
Kuvio 2. Jousivaaka (Hämäläinen, 2008).....	12
Kuvio 3. Venymäliuska (Kompo2010)	13
Kuvio 4. Venymäliuska siltakytkennässä (Jansson 1999, 66).....	15
Kuvio 5. Rakkoakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 156)	19
Kuvio 6. Kalvoakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 157)	20
Kuvio 7. Mäntäakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 158)	21
Kuvio 8. Kitkakertoimia eri aineiden välillä (Mäkelä ym. 2008, 180).....	23
Kuvio 9. Kitkavoiman muutos liukuvien pintojen välillä.	25
Kuvio 10. Testimäntä	27
Kuvio 11. Testisylinteriputki.....	27
Kuvio 12. Mittausanturi	29
Kuvio 13. National Instruments -tiedonkeruulaite.....	30
Kuvio 14. Karamoottori	32
Kuvio 15. Testauspenkin luonnos	33
Kuvio 16. Testilaitteiston ensimmäinen kokoonpanoversio.....	34
Kuvio 17. Testauksessa saatua mittadataa. Pystyakselilla voima [N], vaakakselilla aika [s].....	37
Kuvio 18. Mittausten heiton tutkinta.	38
Kuvio 19. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos vetonopeuden muuttuessa. (norm. tiiviste).....	39
Kuvio 20. Vetonopeuden muutoksen vaikutus liukukitkan keskiarvoon F_{Ka} (normaali tiiviste).....	40
Kuvio 21. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos vetonopeuden muuttuessa (pakkastiiviste)	40
Kuvio 22. Liukukitkan keskiarvon F_{Ka} muutos vetonopeuden muuttuessa. (pakkastiiviste)	41
Kuvio 23. F_s -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 50 mm:n sylinteriputkella.	42
Kuvio 24. F_{Ka} -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 50 mm:n sylinteriputkella.	43
Kuvio 25. F_s -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 80mm:n sylinteriputkella.	43
Kuvio 26. F_{Ka} -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 80 mm:n sylinteriputkella.	44

Kuvio 27. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa normaalitiivisteillä.	45
Kuvio 28. Liukukitkan keskiarvon F_{ka} muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa normaalitiivisteillä.	46
Kuvio 29. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa pakkastiivisteillä.....	46
Kuvio 30. Liukukitkan keskiarvon F_{ka} muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa pakkastiivisteillä.....	47

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Paineakku	Hydrauliikkajärjestelmän komponentti, joka varastoi hydrauliikkapumpun tuottamaa energiaa. Koostuu kahdesta kammiosta, joissa toisella puolella hydrauliikkaöljy ja toisella yleensä typpikaasu. Paineakkuja voi olla mäntä, kalvo tai rakkotyyppisiä. (Kauranne, Kajaste, & Vilenius 1996, 155-158.)
Venymäliuska-anturi	Voiman mittaamiseen käytetty anturityyppi. Anturi koostuu ohuista metallilangoista, joiden resistanssi muuttuu lineaarisesti pituuden muutokseen verrattuna. (Jansson 1999, 66.)
Load Cell	Voima-anturi, joka muuntaa mitattavan voiman sähköisesti tulkittavaan muotoon. Mitattava voima aiheuttaa anturin rakenteeseen muodonmuutosta, joka havaitaan yleensä venymäliuska-tekniikkaa käyttäen, mutta olemassa myös muita tekniikoita. (Omega [Viitattu 13.3.2013])
Ra- arvo	Pinnan karheutta ilmaiseva suure. Ilmaisee pinnan profiilin keskipoikkeaman (μm). (Kivioja 2006, 19.)
Stick-slip- ilmiö	Kitkavoiman suuruuden vaihtelusta johtuvaa nykivää tai värähtelevää liikettä kahden toisiinsa hankaavan pinnan välillä (Aho 1975, 136).

1 Johdanto

1.1 Yritysesittely

Työn toimeksiantava yritys on Lapualla vuonna 1998 perustettu yritys Hydroll Oy. Hydroll Oy on maailman ainoa ainoastaan mäntäpaineakkujen valmistukseen ja kehittämiseen keskittyvä yritys. Yritys työllistää suoranaisesti noin 20 henkilöä Lapuan tuotantoyksikössä sekä suuren määrän alihankkijoiden työntekijöitä Suomessa ja ulkomailla. Yritys on osa Etola Group Oy:tä. (Hydroll Oy 2012.)

Yrityksen tuotteita käytetään laajasti uusiutuvan energian sovelluksissa, liikkuvissa työkoneissa, satamanostureissa, laivoissa ym. Yrityksen valmistamista tuotteista suuri osa päätyy vientiin. (Hydroll Oy 2012.)



Kuvio 1. Hydroll Oy:n logo

1.2 Työn tausta

Työn tilaajan Hydroll Oy:n valmistamia mäntäpainevaraajia ei pystytä nykyisessä tuotannossa ja tuotekehityksessä testaamaan muuten kuin koeponnistamalla valmiit mäntäpainevaraajat käyttöpaineella. Mäntäpainevaraajasta käytetään yleisesti myös nimitystä paineakku, jota nimitystä tullaan tässä esityksessä jatkossa käyttämään.

Tuotekehityksen kannalta on oleellista, että voidaan tutkia myös asioita laitteen toimivuuden kannalta. Yksi tärkeä osa-alue on erilaisten käytössä olevien tiivisteiden vaikutus laitteen toimintaan ja käyttäytymiseen. Nykyisin tiivisteiden kitkaomi-

naisuuksia ei pystytä tutkimaan, sillä kyseiseen mittaukseen ei ole saatavilla laitteistoa. Kitkan suuruus vaikuttaa oleellisesti mäntäpaineakkujen hyötysuhteeseen ja ominaisuuksiin paineakkujen ollessa käytössä erilaisissa olosuhteissa.

1.3 Työn tavoite

Työn tavoitteena on selvittää minkälaisella laitteistolla pystytään mittaamaan ja saamaan tietoa kitkan vaikutuksesta männäntiivisteeseen ja sylinteriputken välillä. Ilmiön selvittämisen jälkeen tavoitteena on suunnitella ja valmistaa laitteisto Hydroll Oy:n tuotekehitystyön tarpeisiin.

1.4 Työn rakenne

Työn ensimmäisessä vaiheessa selvitetään kuinka kitkavoimaa voidaan mitata ja millainen testilaitteisto tarvitaan kyseiseen työhön.

Seuraava vaihe on testilaitteiston ja ympäristön suunnittelu. Testilaitteistossa tulee kiinnittää huomioita laitteen mekaaniseen rakenteeseen, voimaa mittaavaan anturiin, mittaustiedon siirtämiseen tietokoneohjelmistoon sekä vetolaitteeseen, jolla mäntää vedetään sylinterissä.

Työn viimeinen vaihe on tutkia yrityksestä saatavia paineakkuja ja niiden kitkaominaisuuksia testilaitteiston avulla.

2 Voiman mittaamisen teoria

2.1 Yleistä mittauksesta

Massa ja voima ovat tuttuja fysikaalisia suureita, joiden mittaaminen on hyvin yleinen tehtäviä. Massan ja voiman yhteyttä kuvaa Newtonin liikelaki

$$F=ma \quad (1)$$

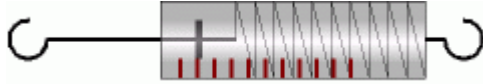
jossa a on massan kiihtyvyys, F on voima ja m on massa.

Paino on suure, jolla tarkoitetaan massan aiheuttamaa voimaa, joka syntyy maapallon vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden g vallitessa. Maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys riippuu maantieteellisestä sijainnista sekä maan ja mitattavan yksikön välisestä etäisyydestä. Tavallisesti maan vetovoiman aiheuttamasta kiihtyvyydestä on käytetty likiarvoa $g=9,81 \text{ m/s}^2$. (Ikonen, Lehto, Wallin & Äijälä 2000, 63.)

Voimaa lineaarisessa liikkeessä voidaan mitata monella eri periaatteella. Seuraavassa on esimerkkejä muutamasta yleisestä mittaustavasta.

2.1.1 Mekaaninen mittaus

Mekaanisia mittalaitteita, jotka perustuvat elastiseen runkokappaleeseen ovat mm. erilaiset jousiva'at ja tensiometri. Jousivaaka soveltuu yleisesti vain karkean tarkkuuden mittauksiin. Tensiometri on hienomekaaninen mittalaite, joka kiinnitetään kahdesta tukipisteestä tukevasti kappaleeseen. Kun kappaleen muoto muuttuu, myös tukipisteiden välinen etäisyys muuttuu. Kappaleen muodon muutos vahvistetaan mekaanisella vivustolla ja osoittamiseen käytetään sopivasti kalibroitua asteikkoa. (Ikonen ym. 2000, 73.)



Kuvio 2. Jousivaaka (Hämäläinen, 2008)

2.1.2 Pietsosähköinen anturi

Kohdistettaessa voima pietsosähköiseen kiteeseen syntyy potentiaaliero kiteen tiettyjen sivujen välille. Potentiaalieron aiheuttaa sähköinen polarisaatio, jonka suuruus ja napaisuus riippuvat kiteen materiaalista sekä kiteeseen kohdistuvan voiman suunnasta ja suuruudesta. Pietsosähköisistä materiaaleista yleisimmin käytetty on kvartsi. (Ikonen ym. 2000, 69).

Pietsosähköisiä antureita käytetään usein dynaamisiin sovelluksiin, kuten värinän mittaamiseen (Ikonen ym. 2000, 69).

2.1.3 Kapasitiivinen mittaus

Pieniä muodonmuutoksia runkokappaleessa voidaan mitata myös käyttämällä kondensaattoria. Kondensaattorin levyjen ollessa kiinnitettynä erikseen runkokappaleeseen kiinnityspisteiden välimatkan muutos aiheuttaa kondensaattorin kapasitanssin muutoksen. Muutosta mittaamalla voidaan tulkita voiman suuruus. Kapasitiivista mittaustapaa voidaan tyypillisesti soveltaa muiden mittaustapojen sijasta, esimerkiksi erityisen kuumissa mittaushetkeissä. (Ikonen ym. 2000, 73.)

2.1.4 Venymäliuskamittaus

Hyvin yleinen menetelmä mitata voimaa on jo 1930-luvun lopulla markkinoille tuotu venymäliuska. Yksi tai useampi venymäliuska kiinnitetään mitattavan objektin elastiseen runkoon. Runkokappaleen muodon muuttuessa muuttuvat samalla runkoon kiinnitetyn liuskan muoto sekä resistanssi. Menetelmästä tekee suositun sen yksinkertainen toimintaperiaate. Kun lankaa jännitetään, langan pituus kasvaa ja poikkipinta-ala pienenee. Kyseisen tapahtuman johdosta langan resistanssi muuttuu. (Ikonen ym. 2000, 73–74.)

Yksittäinen venymäliuska-anturi on vain osa mittausjärjestelmää, joka tarvitaan jotta mitattava voima voidaan lukea anturin antamasta jännitesignaalista. Käytettäessä yksittäistä venymäliuskaa, tarvitaan ensin täydentävä kytkentä, joka muodostaa Wheatstonen sillan. Käytettäessä useampia liuskoja täydentävään kytkentään kuuluu myös kalibrointi ja säätövastukset. (Ikonen ym. 2000, 78.)

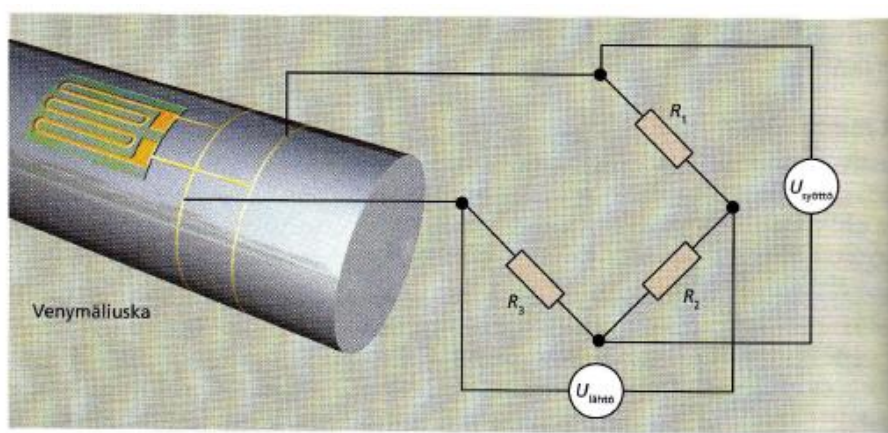


Kuvio 3. Venymäliuska (Kompo2010)

2.1.5 Wheatstonen siltakytkenä

Venymäliuskan resistanssin muutos kuormituksessa on tyypillisesti hyvin pieni, eikä näin pienten muutosten mittaaminen ole tavallisella vastusmittarilla käytännöllistä. Parempaan tulokseen päästään kytkemällä liuska osaksi Wheatstonen siltakytkenä. Silta tasapainotetaan huolellisesti lepotilassa ennen kuin siihen kohdistuu kuormitusta. Kun anturiin kohdistetaan voimaa, liuskan tai liuskojen resistanssit muuttuvat ja silta joutuu epätasapainoon. (Ikonen ym. 2000, 77.)

Venymäliuskavoima-antureissa kaikki neljä vastusta ovat usein liuskoja, jotka on kiinnitetty anturin runkoelementtiin niin että anturiin kohdistuva voima pienentää kahden ja suurentaa kahden liuskan resistanssia. Asettamalla parit sillan vastakkaisiin haaroihin aikaansaadaan suurin epätasapaino. Käytettäessä tarkalleen samanlaisia liuskoja, on mahdollista saavuttaa myös hyvä lämpötilakompensointi. Silta pysyy tasapainossa, kun jokaisen liuskan lämpökäyttäytymiset ovat samanlaisia. Ennen mittaustulosten rekisteröintiä sillan ulostulojännite vahvistetaan. (Ikonen ym. 2000, 77.)



Kuvio 4. Venymäliuska siltakytkennässä (Jansson 1999, 66)

2.1.6 Epätarkkuus

Mittatarkkuus saattaa kärsiä, jos mitattavalla runkokappaleella ja venymäliuskalla on erisuuret lämpölaajenemiskertoimet sekä mittasillan ulostulojohtimet ovat epätasapainossa (Ikonen ym. 2000, 77).

Mittauksissa käytetty instrumentointi saattaa sijaita kaukana venymäliuskoista, joten mittasillan johdot voivat muodostua jopa kymmenien tai satojen metrien mittaisiksi. Johtimissa tapahtuva jännitehäviö saattaa tulla koko järjestelmä tarkkuuden määrääväksi tekijäksi, ellei käytetä kuusijohdinkytkentää. Kytkennässä sillan syöttöjännite johdetaan takaisin ohjaamaan generaattoria. Takaisinkytkennän avulla generaattori pystyy pitämään sillan syöttöjännitteen vakiona. Sillan ulostulossa johtimien eri pituudet saattavat aiheuttaa että mittaus muuttuu herkäksi lämpötilan vaihtelulle johtimissa. (Ikonen ym. 2000, 78–79.)

Kaupallisesti tyypillisen tarkkoihin mittauksiin valmistetun venymäliuska-anturin epälineaarisuus on luokkaa $\pm 0,03$ %, hystereesi 0,02 % ja toistuvuus 0,01 - 0,02 % mitta-alueesta. Lämpötilakertoimet ovat + 15 ppm/K käyttöalueella -40 - +80 °C. Sisäänmeno- ja ulostuloresistanssi tyypillisesti 350 Ω . Kokoonpuristuma anturissa on tavallisesti 0,1 - 0,2 mm. Mittausalue anturilla saattaa vaihdella muutamasta kilogrammasta jopa useisiin satoihin tonneihin. Mittausaleen laajentamiseksi on myös mahdollista kytkeä venymäliuska-antureita joko rinnan tai sarjaa. Tällä kytkentätavalla eliminoidaan myös mitattavan kuorman painopisteen siirtymisestä

aiheutuva virhe, joka yksittäistä anturia käytettäessä saattaa vääristää mittaustulosta oleellisesti. (Ikonen ym. 2000, 79.)

2.1.7 Venymäliuskatyypit

Venymäliuskoja voidaan valmistaa eri menetelmillä sovelluskohteen mukaan, erityisesti metallista. Ensimmäiset havainnot johdinlangan resistanssin muuttumisesta jännitettäessä tehtiin Amerikassa jo vuonna 1843, kun Charles Wheatstone kirjoitti keksimästään siltakytkennästä. Ensimmäiset kaupalliset versiot venymäliuska-antureista esiteltiin 1930-luvun lopulla. Venymäliuskat olivat lankatyypisiä ja toimintaperiaatteeltaan ja rakenteeltaan nykyisin käytettäviä vastaavia. Venymäliuskan valmistuksen perusperiaate on laskostaa 20 - 30 mikrometrin paksuista johtavaa lankaa kannatinrakenteena toimivalle alustalevyille. (Ikonen ym. 2000, 76.)

Ohutkalvoliuskat valmistetaan tyypillisesti höyrystämällä useita ohuita metalliseoskalvoja suoraan elastisen runkokappaleen pinnalle. Tyypillinen rakenne koostuu kiinnityksen takaavasta kromikerroksesta, jonka päälle valmistetaan eristekerros. Mittaava anturiosa on resistiivinen kromi-nikkelikerros, jonka päihin tehdään kytkentöjä varten kultaiset saarekkeet. Lopuksi lisätään toinen eristekerros ja metallikerros, joka takaa hermeettisen suojan. (Ikonen ym. 2000, 76.)

Ohutkalvoliuskan anturikerroin riippuu liuskan paksuudesta sekä käytetystä resistiivisestä materiaalista. Ohutkalvoliuskat eivät ole saavuttaneet suurta suosiota, koska niiden resistanssi on vaikeasti ennakoitavissa ja ajallisesti epästabiili. (Ikonen ym. 2000, 76.)

Yleisin käytössä oleva venymäliuskatyyppi on kalvoliuska. Sitä voidaan käyttää erittäin tarkkoissa antureissa ja sillä on useita ylivertaisia ominaisuuksia muihin rakenteisiin verrattuna. (Ikonen ym. 2000, 76)

Kalvotyyppin liuska muodostuu ohuesta erittäin tarkasti määrättyyn kuvioon valmistetusta metallikalvosta, joka on kiinnitetty tukirakenteena toimivalle alustalle. Me-

tallikalvo voi olla 2 - 5 mikrometrin ja alusta 10 - 30 mikrometrin paksuinen. Mittauksessa käytettävä kuviointi sekä johtimien kiinnitykseen tarvittavat saarekkeet valmistetaan tyypillisesti massatuotannolla käyttämällä valoladontatekniikkaa, jonka johdosta päästään kohtuullisiin yksikkökustannuksiin. Tavallisesti käytettyjä alustamateriaaleja ovat polyamidi, epoksi ja lasikuitu-epoksi-fenoli. Alusta helpottaa oleellisesti anturin käsittelyä ja kiinnittämistä sekä toimii myös eristeenä anturin ja kuormaa kantavan elementin välillä. Siitä huolimatta että epoksi ja sen johdannaiset ovat todella hauraita käsitellä, ovat ne suosittuja sillä niissä esiintyy vain vähäistä ryömintää sekä vain vähäistä kosteuden imeytymistä. (Ikonen ym. 2000, 76-77.)

Metallikalvoliuskojen yleisin resistanssiarvo on $120\ \Omega$ ja pituudet vaihtelevat muutamasta millimetristä 150 millimetriin. Niitä on runsaasti saatavilla sekä valmiissa voima-antureissa että erillisinä. Niitä valmistetaan myös erilaisina valmiina ryhminä, kuten yksinkertaisina verkkoina tai ruusukkeina. (Ikonen ym. 2000, 76–77.)

3 Hydraulisen energian varastointi

3.1 Periaatteet

Energian varastoimisella hydraulisissa järjestelmissä tähdätään toiminnan varmistamiseen poikkeustilanteissa sekä ominaisuuksien parantamiseen järjestelmässä. Alhainen kokoonpuristuvuus hydrauliiKANesteessä, käytettäessä normaaleita käyttöpaineita estää suurten hydrostaattisten energiamäärien varastoinnin nesteseen itseensä ja näin ollen energiaa on varastoitava muuhun aineeseen nesteen ulkopuolelle. Käytännössä varastointivaihtoehdot ovat joko jousen, massaan tai kaasuun. Käytännössä katsoen muihin kuin kaasuun varastointi on harvinaista. (Kauranne ym. 1996, 155.)

3.2 Paineakut

Hydrauliikkajärjestelmässä energiaa voidaan varastoida paineakkuihin, jonka jälkeen paineakkua voidaan käyttää erillisenä energianlähteenä tai pumpun rinnalla. (Kauranne ym. 1996, 155).

Kaasun käyttöön perustuvat paineakut koostuvat kahdesta erillisestä kammiosta, joita erottaa nesteen ja kaasun sekoittumisen estävä väliseinä. Hydrostaattinen energia voidaan varastoida täyttämällä paineakun nestetila paineistetulla nesteellä, jolloin kammiot erottava väliseinä puristaa kokoon kaasua kasvattaen sen energiamäärää. Kun järjestelmässä paine laskee, laajeneva kaasu työntää nesteen takaisin käytettävään järjestelmään. (Kauranne ym. 1996, 155.)

Paineakkuja käytetään esimerkiksi tilavuusvirtalähteenä kun tarvitaan hetkellistä suurta tilavuusvirtaa. Suuntaventtiilin asentoa muutettaessa hydrauliiKANesteen virran suunta muuttuu ja siitä johtuvaa värähtelyä ja paineiskuja tasataan paineakuilla. Pumput tuottavat painetta usein sykäyksittäin, jonka vuoksi paineakkuja käytetään myös järjestelmän tasaisen paineen ylläpitäjänä ja energiavarastona poikkeustilanteita varten. Käyttökohteita löytyy myös jousituksesta sekä hydro-

staattisella tehonsiirrolla varustettujen ajoneuvojen jarrutusenergian talteenotossa. (Kauranne ym. 1996, 157-158)

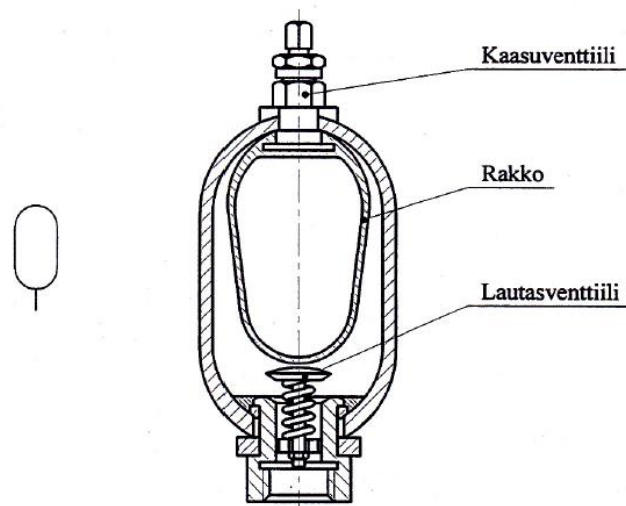
3.3 Paineakkurakenteet

Seuraavassa esitellään yleisimmät paineakkujen tyypit ja rakenteet.

3.3.1 Rakkoakku

Rakkoakussa kaasu- ja nestetilan erottavana elementtinä on elastinen rakko, joka tavallisesti kiinnitetään vulkanoimalla rakko kaasuventtiilirunkoon. Nestepaineen vaihtelu aiheuttaa rakon supistumisen tai laajenemisen. Rakkoakun nesteliitännässä on lautasventtiili, joka estää laajentuneen rakon pääsemisen ulos akusta ja suojaa näin ollen rakkoa mekaaniselta kulumiselta. Lautasventtiili on myös mahdollista korvata sihtimäisellä laatalla. (Kauranne ym. 1996, 156.)

Rakkoakun tyypillinen käyttökohde on esimerkiksi työstökoneissa, koestuslaitteissa sekä iskunvaimentimena maansiirtokalustossa ja putkistossa (Kauranne ym. 1996, 157).



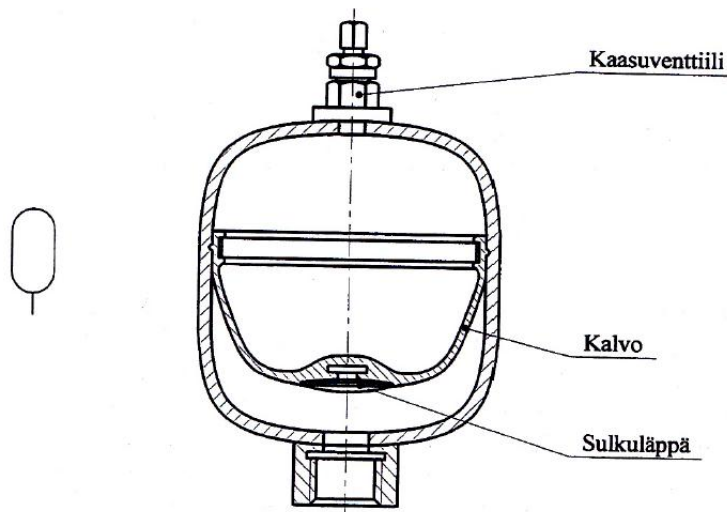
Kuva 113. Rakkoakku.

Kuvio 5. Rakkoakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 156)

3.3.2 Kalvoakku

Kalvoakussa neste- ja kaasutilan erottaa toisistaan akun sisäseinään kiinnitetty kalvo. Kalvoakun puolipallon muotoisen kalvon alapintaan on vulkanisoimalla kiinnitetty sulkuläppä, joka peittää nesteliitännän ja estää kalvoa tunkeutumasta liitännään ja näin ollen estää kalvoa rikkoutumasta sen ollessa täysin laajentunut. (Kauranne ym. 1996, 157.)

Kalvoakkuja käytetään tyypillisesti työstökoneissa vaimentamaan pumppujen ja venttiileiden aiheuttamia paineiskuja, hydropneumaattisissa jousitusjärjestelmissä ja lukkiutumisenestojärjestelmissä. (Kauranne ym. 1996, 157.)



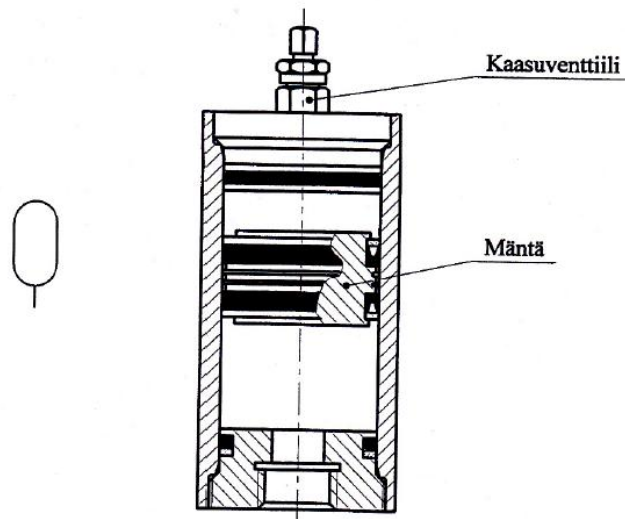
Kuva 114. Kalvoakku.

Kuvio 6. Kalvoakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 157)

3.3.3 Sylinterimäinen mäntäakku

Sylinterimäisessä mäntäakussa kaasu- ja nestetila on erotettu vapaasti liikkuvalla männällä. Männän ja sylinterin välissä esiintyy kitkaa, joka heikentää mäntäakun hyötysuhdetta kitkattomiin vaihtoehtoihin verrattuna. (Kauranne ym. 1996, 157.)

Mäntäakkuja käytetään tyypillisesti järjestelmissä, joissa varastoitavat nestetilavuudet ovat kohtuullisen suuria, mutta myös pienemmissä kohteissa. Käyttökohteita löytyy esimerkiksi hydropneumaattisista jousituksista, valsseista ja muovintyöstökoneista. (Kauranne ym. 1996, 157–158.)



Kuva 115. Mäntäakku.

Kuvio 7. Mäntäakun periaatekuva (Kauranne ym. 1996, 158)

4 Yleistä kitkasta

Kitka on kappaleen liikettä vastustava voima. Liukukitka aiheutuu kosketuspintojen pienistä epätasaisuuksista ja niissä tapahtuvista muodonmuutoksista. Liukukitka ei riipu hankaavien pintojen pinta-alasta. Nopeuden kasvaessa liukukitka hieman pienenee. (Hautala & Pelttonen. 2009, 32.)

Levossa olevaan kappaleeseen vaikuttaa staattinen kitka eli lepokitka, joka on yhtä suuri kuin kappaletta liikuttamaan yrittävä kokonaisvoima. Lepokitkan olemassa olo on ehdotonta, ilman sitä ei esimerkiksi pystyisi kävelemään, eikä eteneminen olisi mahdollista. (Hautala & Pelttonen. 2009, 32–33)

Kohdistettaessa kappaleeseen voimaa yritettäessä liikuttaa kappaletta, juuri ennen kappaleen liikkeelle lähtöä vaikuttavaa kitkavoimaa kutsutaan täysin kehittyneeksi lepokitkaksi eli lähtökitkaksi. Liikkeessä olevaan kappaleeseen kohdistuu kineettinen kitka, eli liikekitka. (Hautala & Pelttonen. 2009, 33.)

Kitkavoima lasketaan yhtälöstä $F_{\mu} = \mu N$ (2)

jossa μ on kitkakerroin

N on pintaa vasten kohtisuora normaalivoima

μ on riippuvainen hankaavista pinnoista. Kineettisen kitkan tapauksessa μ tarkoittaa liikekitkakerrointa μ_k ja lepokitkan tapauksessa lähtökitkaan liittyvää lepokitkakerrointa μ_s . Lepokitkakerroin on aina liikekitkakerrointa suurempi. (Hautala & Pelttonen. 2009, 33.)

Kahden toisiaan hankaavan pinnan välistä kitkaa pystytään pienentämään voiteluainekerroksella, käyttämällä paremmin toisiinsa sopivia ainepareja tai parantamalla konstruktioita. Voiteluainetta käytettäessä kitka aiheutuu toisiensa suhteen liukuvien nestepintojen hankauksesta aiheutuvasta kitkasta. Kyseinen kitka on suoraan verrannollinen hankaavien pintojen pinta-alaan, voiteluaineen viskositeettiin ja pintojen väliseen nopeuteen. (Hautala & Pelttonen. 2009, 32.)

KITKAKERTOIMIA

Kosketuspinnat	Lepokitka - kerroin μ_s	Liikekitka - kerroin μ_k
Puu - Puu (kuiva)	0,7	0,4
(rasvattu)	0,11	0,075
Teräs- Teräs (rasvattu)	0,12	0,1
Liukulaakeri (rasvattu)	0,14	0,02 ... 0,08
Nahka - Metalli (kuiva)	0,6	0,5
(rasvattu)	0,15	0,12
Kumi - Asfaltti (kuiva)	0,9	0,8
(märkä)	0,4	0,2
Jarrukenkä - Teräs (kuiva)		0,25 ... 0,35
(märkä)		0,2
Sukset - Lumi		0,02 ... 0,1
Teräs - Jää (luistimet)		0,02 ... 0,03

Kuvio 8. Kitkakertoimia eri aineiden välillä (Mäkelä ym. 2008, 180)

Voitelemattomilla pinnoilla kitkaominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi erilaiset pintakerrostumat. Tällaisten pintojen kitkakertoimet voivat olla huomattavasti pienemmät kuin tyhjiössä mitattujen puhtaiden pintojen. Tällaisia kerrostumia voivat olla esimerkiksi epäpuhtaudet tai oksidikalvo. Lähes kaikki kitkan voittamiseksi tehty työ muuttuu lämmöksi. (Aho 1975, 134–135.)

Liukuissa pinnoissa voi tapahtua myös *kyntämiseksi* kutsuttua ilmiötä. Kyseinen ilmiö esiintyy, kun liukuissa pinnoissa olevat kovat ja terävät särmät tunkeutuvat vastakkaiseen pehmeämpään materiaaliin muodostaen siihen uria liukumistapa-uksessa. Kyseiseen muodonmuutokseen tarvittava voima lisää kitkavoiman suuruutta. Kyseistä ilmiötä esiintyy esimerkiksi käytettäessä santapaperia. (Aho 1975, 133.)

Kitkavoiman suuruus saattaa vaihdella ajoittaisesta tiukomisvärähtelystä johtuen. Kyseistä ilmiötä nimitetään englannin kielessä stick-slip-ilmiöksi. Yleensä kyseinen ilmiö koetaan hyvin haitalliseksi ja se pyritään poistamaan tai ainakin rajoittamaan.

Jotta kyseinen ilmiö olisi mahdollinen, täytyy järjestelmän joustaa jostakin kohtaa. Värähtelyn taajuus saattaa olla matala (8 - 10 Hz) tai hyvinkin korkea (4 - 5 kHz) . (Aho 1975, 136.)

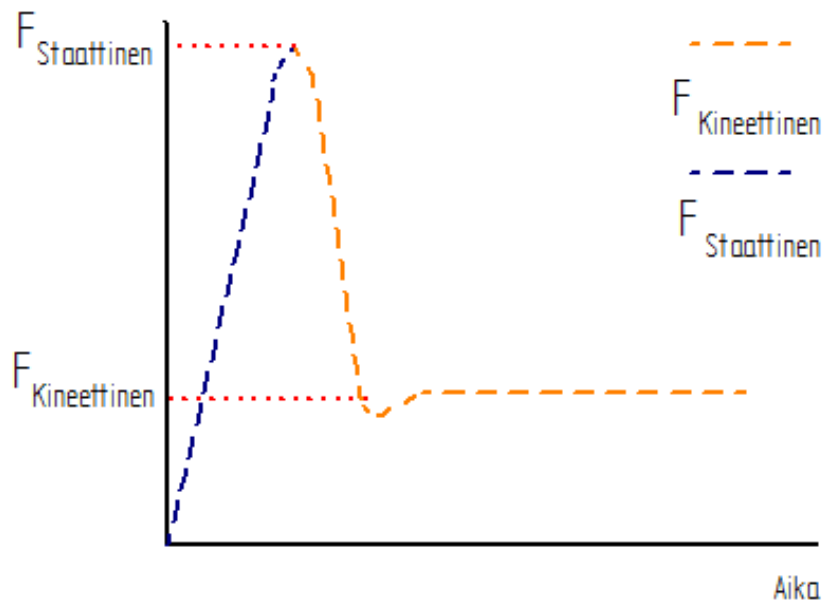
Tihkomisvärähtely voidaan jakaa kolmeen erilaiseen ryhmään syntyvän mukaan. Siirtymän ohjaamaa, epäsäännöllistä värähtelyä saattaa ilmetä osittain voideletujen tai voitelemattomien pintojen liukuessa vastakkain. (Aho 1975, 136.)

Aikaohjattua, säännöllistä värähtelyä saattaa ilmetä, jos lepokitkakerroin on huomattavasti suurempi kuin liikekitkakerroin. Kyseisessä tapauksessa lepokitka kasvaa suureksi ja lopulta voitettuaan lepokitkan huippuarvon tapahtuu liukuminen. Liikekitkakerroin on vakio ja lopulta kitkavoima pysäyttää liikkeen, jolloin ilmiö alkaa uudelleen ja lepokitka alkaa kasvaa. (Aho 1975, 136.)

Nopeuden ohjaamaa, harmonista värähtelyä ilmenee tilanteissa, joissa pintojen välinen liukumisnopeus on suuri. Kyseisessä tilanteessa pintojen välinen liike ei pysähdy ollenkaan. Tällainen tilanne syntyy, kun kitkakerroin pienenee liukumisnopeuden kasvaessa. Pintojen lämpeneminen aiheuttaa pintojen pehmentymistä, joka pienentää kitkakerrointa. Edellä mainittujen tapausten estämiseksi on mahdollista kiinnittää huomiota sellaisten aineparien valintaan, joiden välinen kitka ei pienene, vaikka nopeus kasvaisi käyttöolosuhteissa. Muita keinoja on ehkäistä värähdysamplitudia esimerkiksi lisäämällä vaimennusta järjestelmään tai suurentamalla värähteleviä massoja. (Aho 1975, 136-137.)

Tihkomisvärähtelyä esiintyy yleisesti esimerkiksi hydraulikka- ja paineilmasylinterissä, joissa männän tiivisteenä käytettävä muovipohjainen tiivistemateriaali lämpenee ja näin ollen aiheuttaa kitkakertoimen kasvamisen. Ilmiö vaikeuttaa myös esimerkiksi metallin työstökoneiden työstötarkkuutta, sillä koneen johteissa esiintyy tihkomista, ja hitailla pienillä liikkeillä ilmiö vaikeuttaa liikkeelle lähtöä. Myös

ajoneuvoja jarrutettaessa voidaan havaita vinkuva ääni, joka johtuu kyseistä ilmiöstä. Värähtely havaitaan yleensä äänenä, joka johtuu kitkan vaihtelusta. Ilmiötä voidaan yrittää poistaa kokeilemalla eri voiteluaineita sekä liikenopeuksia. (Johdevoiteluöljyt [viitattu 22.12.2012].)



Kuvio 9. Kitkavoiman muutos liukuvien pintojen välillä.

Kitkavoiman suuruuden muutosta voidaan havainnollistaa kuvion 9 avulla. Kuvios-
ta käy ilmi, kuinka kitkavoima muuttuu kappaleen siirtyessä staattisen kitkan alu-
eelta kineettisen kitkan alueelle. Kitkavoiman suurin arvo esiintyy käyrän lakipis-
teessä, jossa lepokitka on täysin kehittynyt.

Tribologia on tieteen ala, joka tutkii toisiinsa nähden vierivien tai liukuvien pintojen
keskinäisiä vaikutuksia ja kyseisen tapahtuman käytännön sovellutuksia. Tribolo-
gia-käsite kattaa kolme läheisesti toisiinsa liittyvää käsitettä: kitkan, voitelun ja ku-
lumiseen liittyvät ilmiöt. (Aho 1975, 130.)

5 Kitkavoiman testilaitteisto

Työn varsinainen tavoite oli suunnitella mäntäpaineakkuja valmistavalle yritykselle laitteisto, jolla yrityksen tuotteita pystytään testaamaan ja näin ollen parantamaan yrityksen tuotteiden sekä alihankkijoiden komponenttien laaduntarkkailua. saada arvokasta mittaustietoa eri olosuhteissa toimivien paineakkujen ominaisuuksista ja toiminnasta. Tutkimustietoa kitkavoiman aiheuttamasta vastustuksesta kelluvan männän liikkeelle lähtemisessä ja liukumisessa ei löytynyt Internetistä eikä kirjallisuudesta etsinnästä huolimatta. Kitkavoiman aiheuttaman vaikutuksen tietäminen ja tiivisteiden ominaisuuksien tutkiminen toisi uutta kilpailuvalttia ja tietoa valmistajayritykselle sekä asiakkaille.

Laitteistolle asetettiin kriteereiksi sen helppo siirrettävyys yrityksen omiin toimitiloihin myöhempiä tuotekehitystutkimuksia varten. Laitteella täytyi myös pystyä mittaamaan kitkavoiman arvoja tarkasti eri kokoisista sylinteriputkista.

Testauksesta saatavaa mittausdataa haluttiin saada helposti sähköiseen muotoon tietokoneella tarkastelua varten ja helpottamaan aineiston dokumentointia myöhempää tutkimista varten.

5.1 Suunnittelun aloitus

Testausta ja suunnittelua varten saatiin käyttöön yksi sylinteriputki ja mäntä tiivisteineen sekä ohjurirenkaineen. Sylinterin sisähalkaisija oli 80 mm ja ulkohalkaisija 95 mm. Sylinteriputkien sisäpinta oli hiottu ja valmistajan ilmoittama Ra_{max} -arvo 0,3.

Mäntä koostuu kahdesta ohjurirenkaasta, jotka varmistavat että mäntä ei liikkessaan mene vinoon, sekä varsinaisesta tiivisteestä, joka tiivistää sylinterin seinämää vasten sylinterin eri kammiot toisistaan. Männän öljykammion puoleinen pääty on tasainen ja kaasukammion puoleinen pääty on koveran kuppimainen.



Kuvio 10. Testimäntä



Kuvio 11. Testisylinteriputki

5.2 Voiman mittaaminen

Sopivan anturin löytämiseksi kitkavoimaa pyrittiin arvioimaan ja haarukoimaan tiettylle alueelle. Tämän selvittämiseksi testimäntään porattiin reikä ja koneistettiin 10 mm:n kierre. Kierrereikään voitiin kiinnittää kierretanko, jota vedettiin jousivaa'alla.

Jousivaa'an näyttämää tutkittiin ensin 5 kilogramman punnuksella ja todettiin vaa'an näyttämän olevan järkevä.

Vedettäessä mäntää sylinterissä jousivaa'an avulla vaa'an viisarin näyttämä oli noin 10 kg lepokitkan voittamiseksi.

Newtonin toisen lain perusteella, kitkavoiman suurimmaksi arvoksi saadaan kaavan 1 mukaan:

$$F=ma$$

jossa a on massan kiihtyvyys, F on voima ja m on massa. Maan vetovoiman aiheuttamasta kiihtyvyydestä on käytetty likiarvoa $g=9,81\text{ m/s}^2$ (Ikonen ym. 2000, 63).

$$F=10\text{ kg} * 9,81\text{ m/s}^2$$

$$F=98,1\text{ N}$$

Tässä suuntaa antavassa kokeessa tultiin johtopäätökseen, että lepokitkan voittamiseksi tarvitaan noin 100 Newtonin voima kyseisellä kokoonpanolla. Tämän perusteella voidaan miettiä kyseiselle voima-alueelle soveltuvan voima-anturin hankkimista.

5.3 Mittausanturi

Voima-anturiksi päätettiin hankkia Siemensin valmistama S-tyyppinen Load Cell -anturi. Anturin kapasiteetti on 50 kg:aan asti ja näin ollen anturi kestää hyvin hie-
man suurempaakin kuormitusta. Anturin siltakytkenään suositeltava syötettävä jännite sai datalehden mukaan vaihdella välillä 5 - 12 volttia, joten instrumentointiin

käytettävästä laitteesta saatava 5 voltia riittää, eikä näin ollen tarvita erillistä jännitelähdettä anturille.

Hankitun kaltaisia antureita käytetään yleisesti monissa teollisuuden vaakasovelluksissa. Käytetyllä anturilla on mahdollista voiman mittaaminen sekä veto- että puristussuunnasta. Sitä voidaan hyödyntää riippuvissa vaakasovelluksissa, säiliöiden punnituksessa, kalibrointivälineissä ym.

Anturia kalibroitiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun betonilaboratoriosta lainatuilla, tarkkaan kalibroiduilla punnuksilla. Punnusten massat olivat: 1 kg, 2 kg, 5 kg ja 10 kg. Kyseisillä punnuksilla saadaan varioitua eri massoja ja näin ollen pystytään ohjelmallisesti kalibroimaan anturin näyttämää, ja mittausdatasta saadaan luotettavaa. Anturin näyttämä pystytään helposti skaalaamaan kilogrammoista Newtoniksi kertomalla näyttämä 9,81.

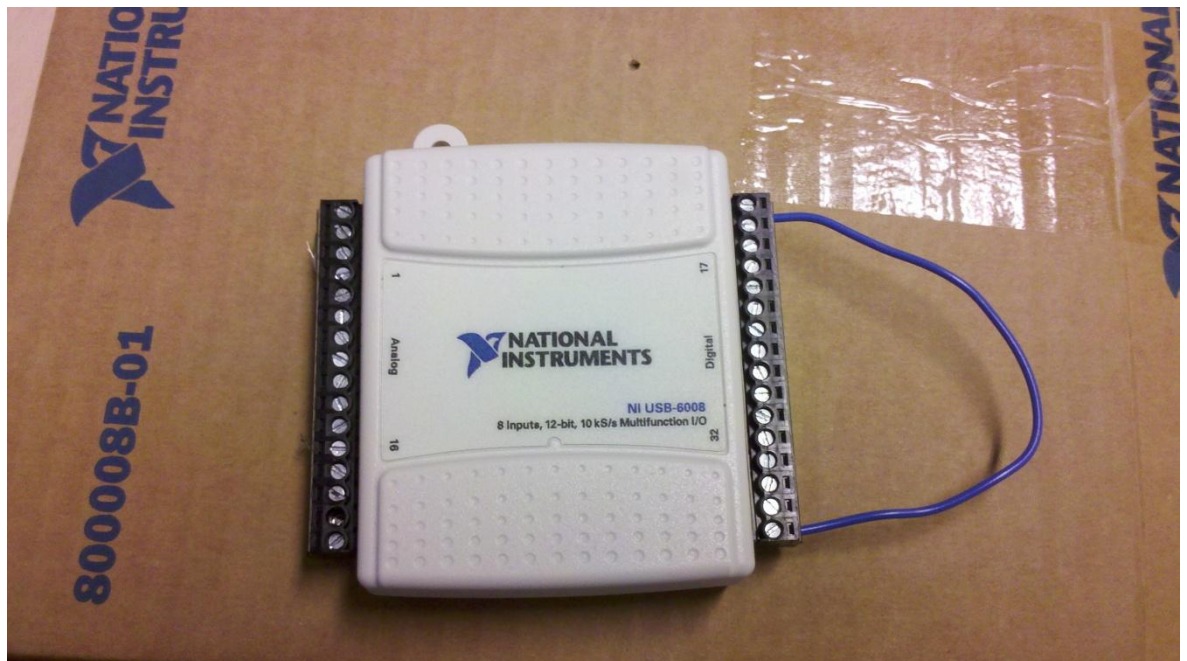


Kuvio 12. Mittausanturi

5.4 Mittausdatan tutkiminen

Anturilta saatavaa mittausdataa päätettiin instrumentoida National Instrumentsin valmistamalla USB-6008-tiedonkeruulaitteella. Laitteessa on 8 analogiasisääntuloa sekä 12 digitaalista lähtö/sisääntuloliitaintä. Laitteesta saadaan käyttöjännite myös mittausanturille.

Tuotteen mukana toimitetaan LabViewin Signal Express -ohjelmisto, jolla erilaisia mittaussignaaleita pystytään seuraamaan, vahvistamaan ja suodattamaan ohjelmallisesti. Laitteella pystytään seuraamaan jännitettä, virtaa, lämpötilaa, painetta, voimaa ym. Suoraan anturilta saatava jänniteviesti on vain muutamia millivoltteja, joten oli erittäin oleellista saada anturilta tuleva signaali helpommin tutkittavaan ja analysoitavaan muotoon. Ohjelman avulla pystytään myös nauhoittamaan saatuja käyriä ja siirtämään tieto suoraan Microsoft Excel -taulukkoon, josta tuloksia on helppo analysoida ja järjestää haluttuun järjestykseen.



Kuvio 13. National Instruments -tiedonkeruulaite

5.5 Vetokone

Vetokoneeksi päätettiin valita Linakin valmistama 12 voltin tasavirralla toimiva karamoottori. Karamoottorissa riittää voimaa sekä veto- että puristussuunnassa 1500 Newtonia, jonka katsottiin olevan riittävä määrä männän sulavaan liikuttamiseen.

Karamoottoreita käytetään yleisesti monella eri teollisuuden, kodin ja terveydenhuollon alueella. Terveystieteiden alueella karamoottoreita on esimerkiksi säädettävissä hammaslääkärin tuoleissa, potilasnostimissa ja sairaalasängyissä. Teollisuudessa käyttökohteita ovat esimerkiksi ilmanvaihdon säätelyt, aurinkopaneelien kääntö, työtasojen korkeuden säätö. Karamoottori on erittäin kätevä ratkaisu tilanteisiin, joissa olisi vaikea saada korvaavaa voiman lähdettä esimerkiksi hydraulikkaa, pneumatiikkaa tai verkkovirtaa. Karamoottori on siisti, helppokäyttöinen ja oikein käytettynä ja kuormitettuna lähes huoltovapaa. (Linak 2013.)

Vetokonetta varten hankittiin säädettävä tasavirtalähde, joka on portaattomasti säädettävissä alueella 0 - 30 V. Kyseinen virtalähde antaa noin 5 ampeerin virran, jonka johdosta vetokone toimii moitteettomasti. Vetokone toimi tavallisen tasavirtamoottorin tavoin eli napaisuutta kääntämällä suunta saadaan muuttumaan. Testausta helpottamaan tehtiin kaukosäädin, jonka avulla napaisuus saatiin muutettua käyttämällä kahta painonappia. Painonappeihin lisättiin avautuva kosketin estämään yhtäaikaista nappien painamisesta johtuvaa oikosulun mahdollisuutta.

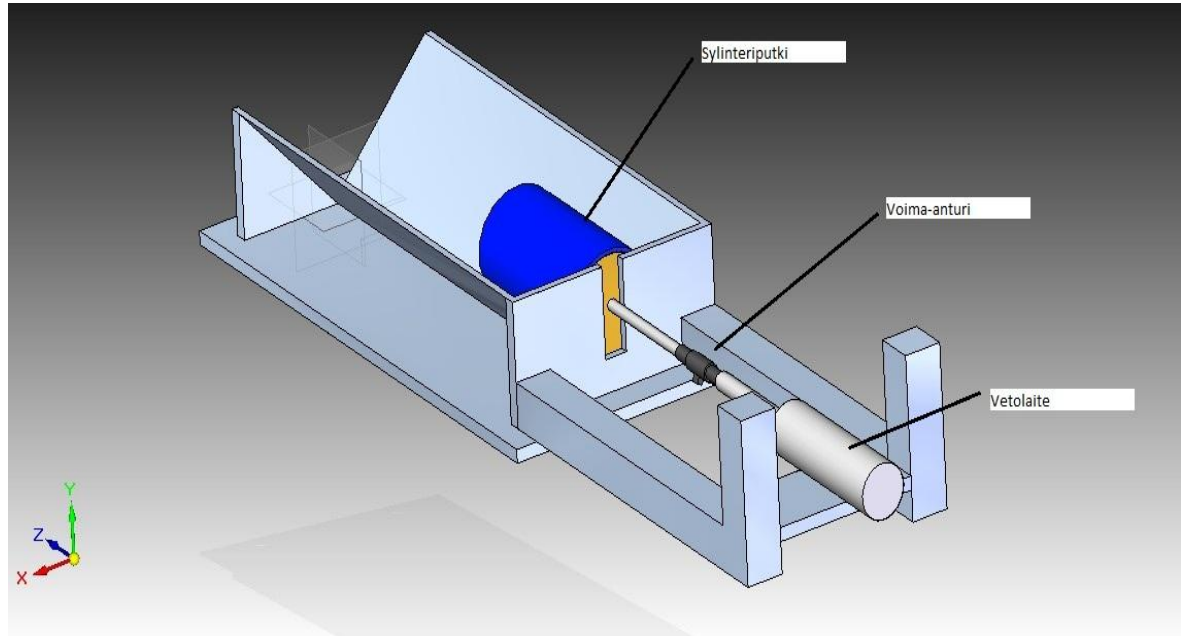
Karamoottorin nopeuden säätämistä tutkittaessa todettiin että nopeuden säätäminen on hyvin yksinkertaista. Nopeus muuttuu kutakuinkin lineaarisesti jännitettä säädettäessä. Tutkimuksen mukaan nopeus kasvoi kutakuinkin 1 (mm/sekunnissa)/V eli 12 voltin käyttöjännitteellä nopeus on noin 12 mm/sek ja 15 voltilla 15 mm/sek. Vetonopeuden tietäminen antaa uutta näkökulmaa ja uusia testausmahdollisuuksia testipenkissä suoritettavaa tutkimusta nopeuden vaikutuksista kitkavoiman suuruuteen.



Kuvio 14. Karamoottori

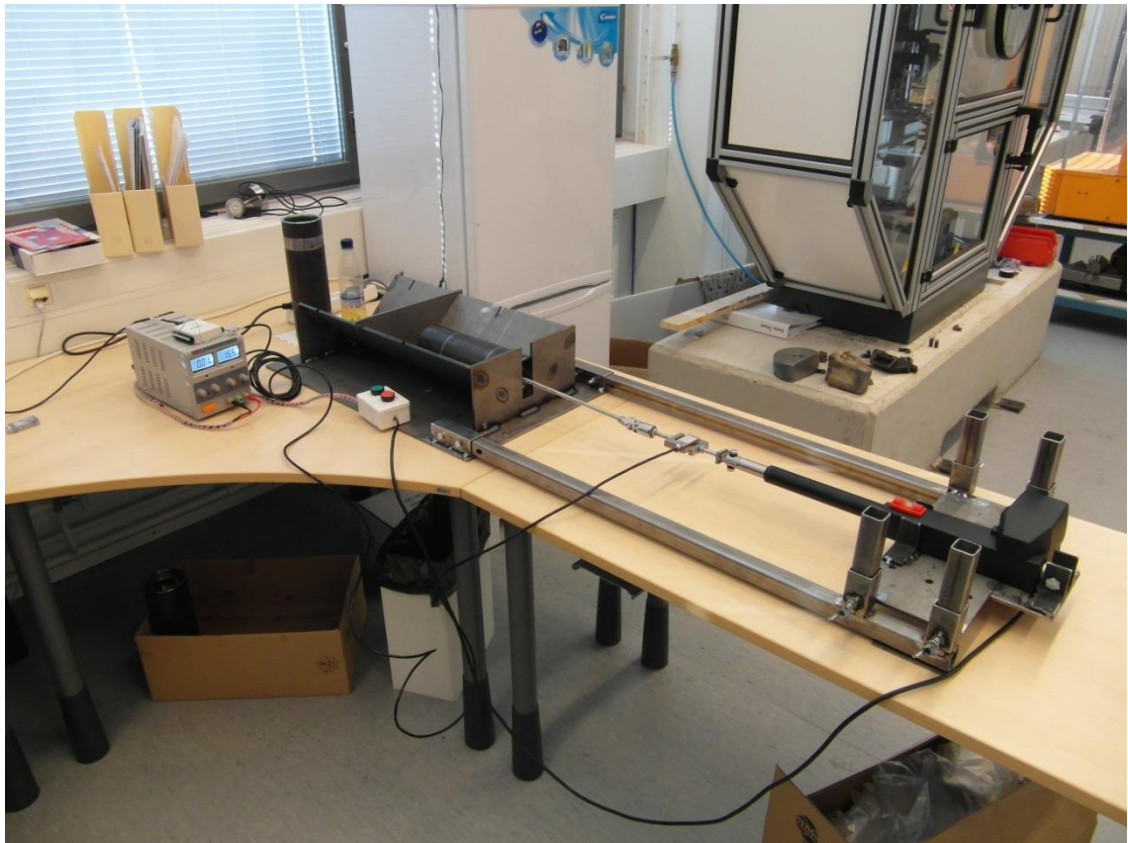
5.7 Testauspenkki

Testauspenkki, jossa varsinainen testaustoiminta suoritetaan, suunniteltiin käyttämällä Solid Edge 3D CAD -ohjelmaa.



Kuvio 15. Testauspenkin luonnos

Penkin varsinainen valmistus pääsi alkuun kun SeAMKin konelaboratoriossa laserleikkurilla leikattiin 6 mm:n teräslevystä piirustusten mukaiset levyt, jotka hitsattiin kasaan. Vetolaitteelle tehtiin neliöputkipalkista kannatinteline, jonka avulla vetolaitteen korkeutta pystytään muuntelemaan eri halkaisijan sylinteriputkia mitattaessa. Varsinainen veto tapahtuu 8 mm:n kierretangon välityksellä, jonka välissä on nivel estämässä mittavirhettä. Mittausvirhe saattaisi syntyä männän mennessä hieman vinoon vedon kohdistuessa muuten kuin kohtisuorasti mäntään. Sylinteriputki nojaa vedossa rungon pätyyn, jossa on hahlo vetotangon vapaata liikkumista varten.



Kuvio 16. Testilaitteiston ensimmäinen kokoonpanoversio.

Testilaitteen mekaanisen rungon valmistuttua, päästiin testaamaan testikäytössä ollutta sylinteriputkea ja mäntää. Laitteen runko, vetokone ja anturi osoittautuivat käyttökelpoisiksi pienten säätötoimenpiteiden jälkeen. V-muotoinen sylinteriputken kannatin mahdollistaa eri kokoisten putkien helpon testaamisen ja tasaisen tuen koko putken matkalta. Vetolaitteen telineestä saatiin valmistettua helposti säädettävä. Eri halkaisijakoon paineakkuja testattaessa, vetolaitteen ja vetotangon korkeutta täytyy pystyä muuttamaan siten että veto kohdistuu kohtisuorasti männän keskipisteeseen.

6 Mittaaminen

Toimeksiantavan yrityksen kanssa sovittiin että mittaukset suoritetaan 50 mm:n, ja 80 mm:n sylinteriputkilla, sekä normaalitiivisteillä että pakkastiivisteillä. Testattavat normaaliolosuhteiden tiivisteet ja pakkastiivisteet olivat halkaisijakoon muutosta lukuun ottamatta samanlaisia ja samaa materiaalia keskenään. Tiivisteiden paikalleen asentamisesta aiheutuvat mahdolliset vauriot tiivisteeseen haluttiin poistaa asennuttamalla tiivisteet valmiiksi koemäntiin yrityksen tuotannon toimesta. Virheellinen asennustapa olisi saattanut vahingoittaa tiivistettä ja testauksen tulos olisi voinut vääristyä. Testauksessa huomioitiin myös käytettävä öljy, jota tulee sylinterissä olla tietty määrä männän oikeanlaisen liukumisen varmistamiseksi. Öljy toimitetaan myös Hydrolin toimesta.

Yrityksellä on käytössään monia erilaisia tiivisteitä ja tiivistetyyppejä, joita on tarkoitus tutkia testeissä. Tässä työssä päätettiin keskittyä pääosin mittauslaitteiston suunnitteluun, rakentamiseen ja mittausjärjestelyn hoitamiseen sekä mittauksen tutkimiseen. Varsinainen tutkimustyö päätettiin antaa projektityöksi alemman vuosikurssin oppilaille tulevaisuudessa, sillä luotettavan mittaustuloksen saamiseksi mittausten määrästä tulisi erittäin laaja tulosten vertailukelpoisuuden takia. Tässä työssä tehdään muutamia testejä ja tutkitaan onko testauslaitteisto käyttökelpoinen.

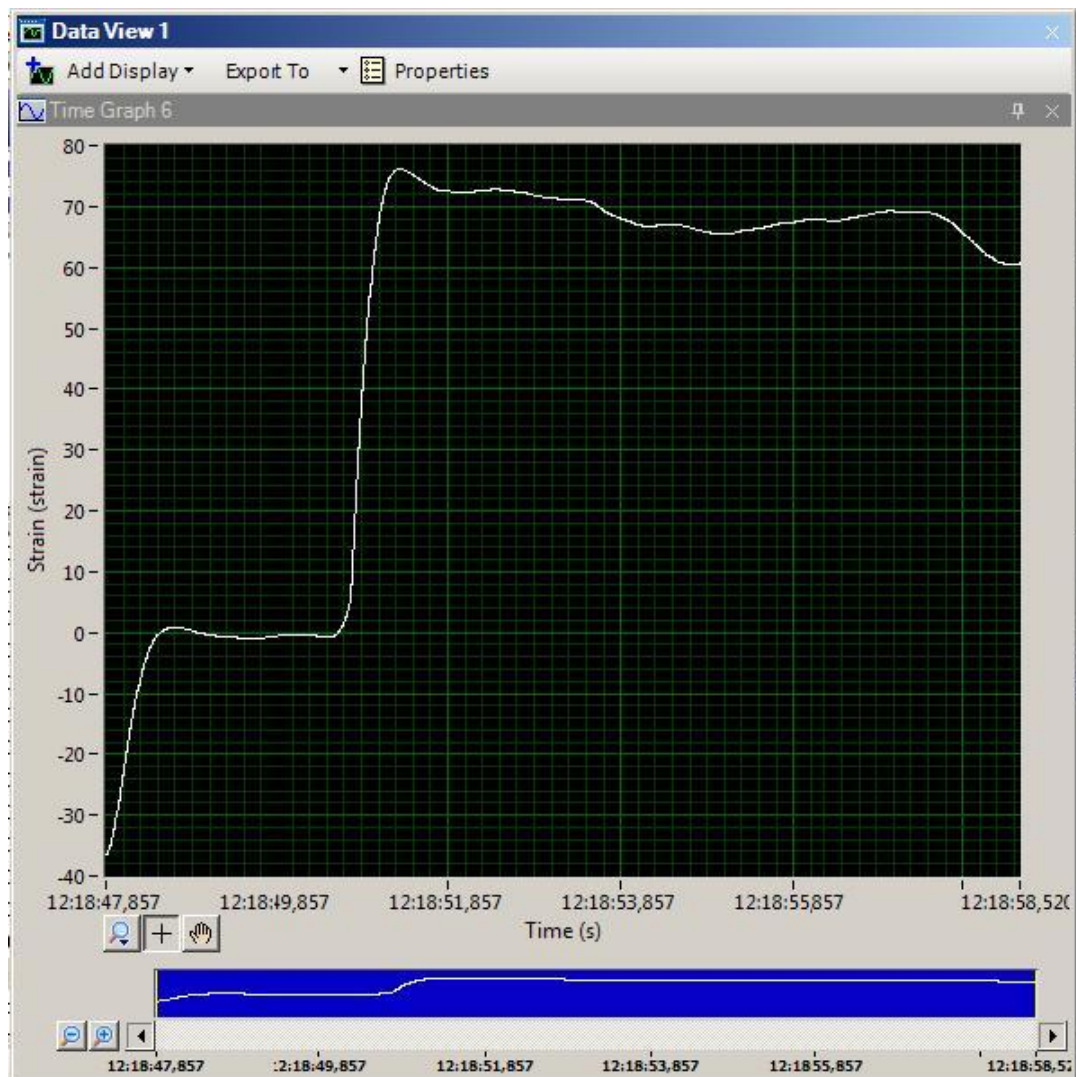
Testilaitteella tulee saada mitattua tarkka lepokitkan huippuarvo sekä liikekitkan suuruus. Säädettävästä virtalähteestä johtuen testauslaitteistolla pystytään myös varioimaan hieman vedon nopeutta ja näin ollen pystytään selvittämään sen vaikutus kitkaominaisuuksiin.

6.1 Mittaustulosten tarkkuus

Mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttaa moni tekijä. Tiivisteiden kitkaominaisuuksiin vaikuttaa oleellisesti lämpötilasta aiheutuvat materiaalin ominaisuuksien muuttuminen ja akun osien lämpölaajenemisesta johtuvat dimensiomuutokset, joita halutaan myös tutkia käytännössä. Asian selvittämiseksi testattavat kappaleet testataan ja tulokset kirjataan, jonka jälkeen kappaleet asetetaan laboratorioissa olevaan jääkaappiin tai pakastimeen tietyksi aikaa, jonka jälkeen testi suoritetaan uudelleen. Myös eri voiteluaineiden vaikutusta kitkan suuruuteen on oleellista tutkia.

Kun sylinteriputkessa olevaa mäntää työnnetään takaperin seuraavaa mittausta varten, saattaa vetotangossa oleva nivel notkahtaa, jos ei sitä tue käsin. Tämä saattaa aiheuttaa erilaisista kulmista kohdistuvaa räsitusta anturiin. Tämä saattaa jättää anturiin hieman pysyvää mittausräppä ja anturi on kalibroitava uudelleen tiedetyllä massalla.

Mittaukset suoritettiin avoimilla paineakuilla, joista oli poistettu päätylaipat. Käytössä olevassa akussa on painetta männän molemmilla puolilla, mikä saattaa tuoda muutoksia kitkaominaisuuksiin. Kyseistä mittausta olisi lähes mahdotonta suorittaa, joten sen vaikutuksiin käyttöolosuhteissa on mahdotonta ottaa kantaa.



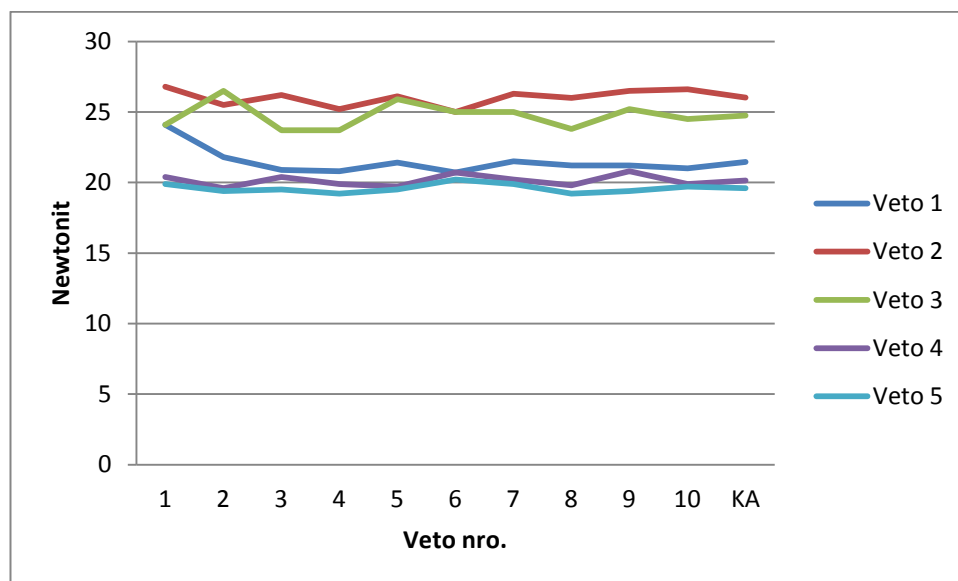
Kuvio 17. Testauksessa saatua mittadataa. Pystyakselilla voima [N], vaakakselilla aika [s].

Testausvaiheessa 80 mm:n sisähalkaisijan sylinteriputkessa mäntää vedettiin useita kertoja koko sylinterin matkalla. Sylinteriin ja mäntään oli sivelty öljyä kauttaaltaan ja sylinteriputken kaadettiin öljyä varmistamaan voiteluaineen riittäminen. Graafisesta kuviossa 17 käy ilmi vedon alkuhetki, täysin kehittyneen lepokitkan huippu sekä liukukitkan alue.

7 Mittaustulokset

Mittausten tekeminen aloitettiin kalibroimalla anturi näyttämään lepotilassa nollaa sekä viiden kilogramman punnuksella jolloin, instrumentointiohjelman näyttämä oli 49 Newtonia. Tämä on hyvin lähellä totuutta. Anturin näyttämä tutkittiin myös mitausten jälkeen ja todettiin näyttämän olevan ennallaan. Ennen testausvetojen aloitusta sylinteriputkiin kaadettiin runsaasti hydraulikkaöljyä tasaisen öljykalvon varmistamiseksi.

Mittaustulokset taulukoitiin ja niihin kirjattiin täysin kehittynyt lepokitka F_s , kitkavoiman maksimiarvo F_{Max} sekä keskimääräinen liukukitkan arvo F_{KA} mitattuna noin 3 sekunnin keskiarvona liukukitkan alueelta. Kymmenestä eri vedosta otettiin keskiarvo, jota käytetään vertailukohtana.



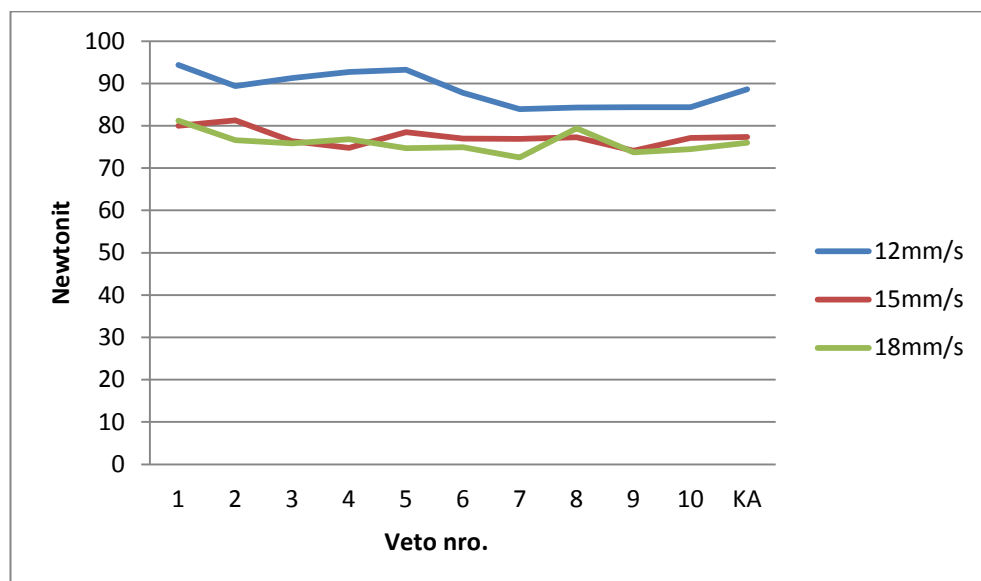
Kuvio 18. Mittausten heiton tutkinta.

Diagrammista kuviossa 18 käy ilmi viisi vetoa 50 mm:n pakkastiivisteisellä sylinteriputkella 18 mm/s vetonopeudella. Mittaukset tehtiin huoneenlämmössä ja niistä kirjattiin ylös F_{KA} -arvot vetojen tasaisuuden tarkkailua varten. Vedot toteutettiin peräkkäisinä päivinä ja välissä tehtiin testauksia muilla sylinteriputkilla. Testauksesta käy ilmi että vetojen keskiarvojen maksimivaihteluväli on noin 6 Newtonia. Kyseiset arvot saattavat vaihdella voiteluöljyn määrän hienoisesta vaihtelusta johtuen.

Testistä voi tehdä johtopäätöksen, että öljyä on sama määrä sylinteriputken seinämällä mittaustuloksen keskinäistä vertailevuutta ajatellen.

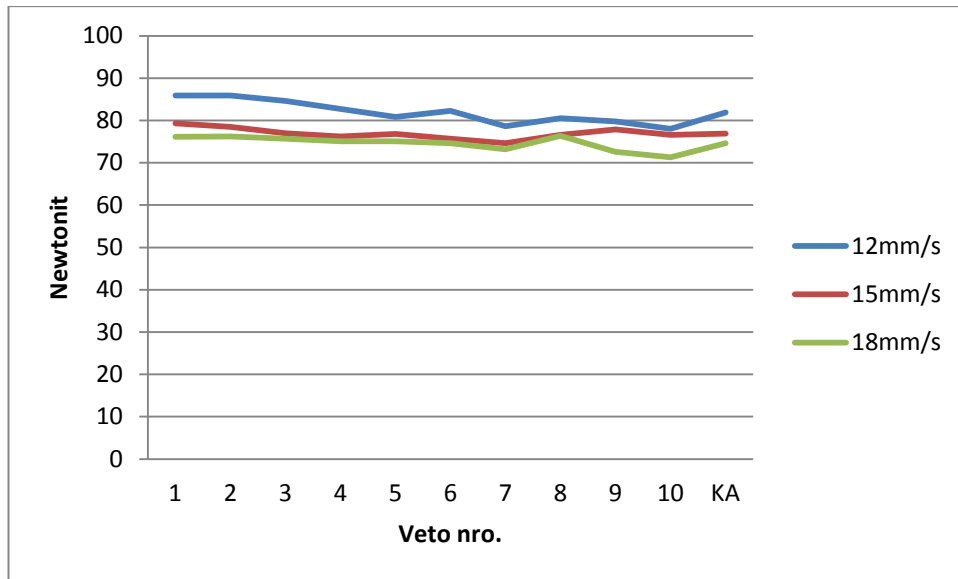
7.1 Mittaus 1: Vetonopeuden vaikutus kitkaan

Ensimmäisessä mittauksessa tutkittiin vetonopeuden vaikutusta kolmella eri nopeudella ja kahdella erilaisella tiivisteellä. Tiiviste 1 oli normaali tiiviste ja tiiviste 2 pakkasolosuhteissa käytettävä tiiviste. Vedot suoritettiin kolmella eri vetonopeudella, ensiksi 12 voltin jännitteellä joka vastaa noin 12 mm/s sekä 15 voltin jännitteellä joka vastasi 15 mm/s ja 18 voltin jännitteellä joka vastaa 18 mm/s nopeutta. Mittaukset suoritettiin huoneenlämpöisellä kokoonpanolla (21°C) 80 mm:n sylinteriputkillä.



Kuvio 19. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos vetonopeuden muuttuessa. (norm. tiiviste)

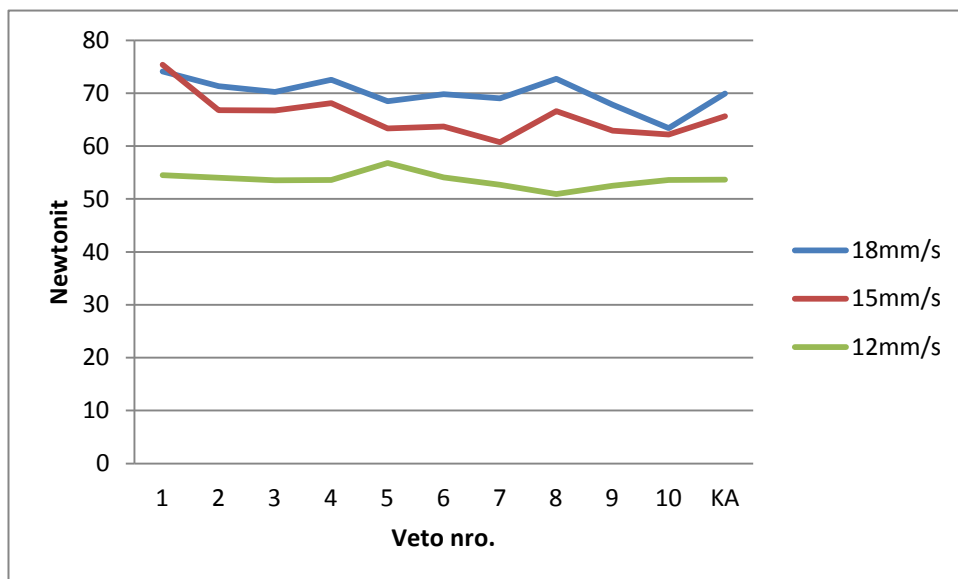
Ensimmäisessä testissä tutkittiin kitkavoiman huippuarvon F_s muuttumista vetonopeuden kasvaessa normaalilla tiivisteellä 80 mm:n sylinteriputkessa. Testissä huomattiin vetonopeuden kasvaessa kitkavoiman suuruuden pienentyvän. Vetonopeuden kasvu 6 mm/s pienensi kitkavoimaa keskimäärin 12 Newtonia.



Kuvio 20. Vetonopeuden muutoksen vaikutus liukukitkan keskiarvoon F_{Ka} (normaali tiiviste)

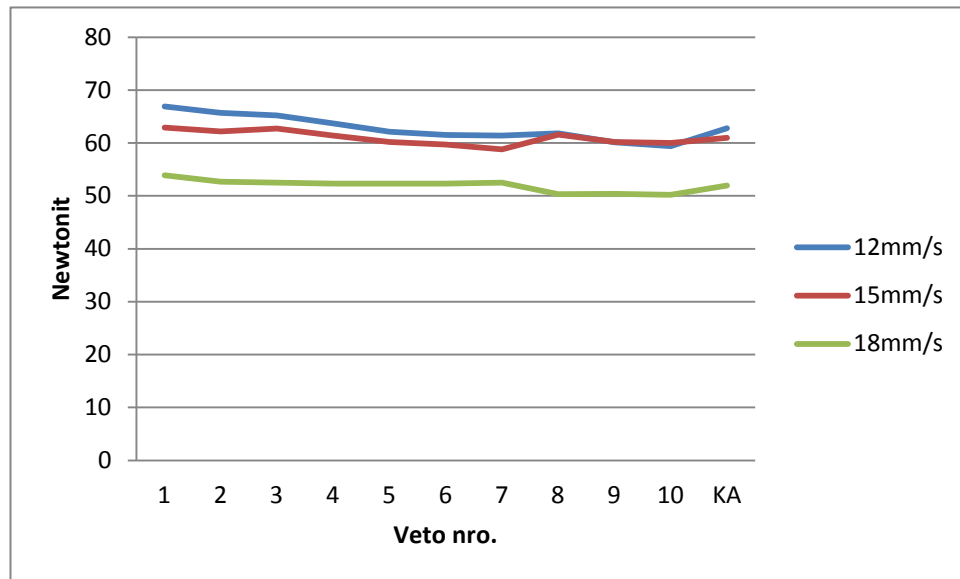
Vetonopeuden kasvaessa 6 mm/s liukukitkan keskiarvon havaittiin laskevan noin 7 Newtonia kitkavoiman keskiarvoon verrattuna.

Testi toistettiin tutkimalla 80 mm:n sylinteriputkella vetonopeuden kasvun vaikutusta kitkavoimaan käyttäen pakkasolosuhteisiin tarkoitettua tiivistettä.



Kuvio 21. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos vetonopeuden muuttuessa (pakkastiiviste)

Kitkavoiman huippuarvon 80 mm:n sylinteriputkessa pakkastiivisteellä havaittiin käyttäytyvän samalla tavalla kuinka normaalilla tiivisteellä eli laskevan nopeuden kasvaessa. Keskimäärin kitkavoima oli normaaliin tiivisteeseen verrattuna noin 18 Newtonia pienempi. Vetonopeuden 6 mm/s kasvattaminen pienensi F_S -arvoa noin 16 Newtonia.



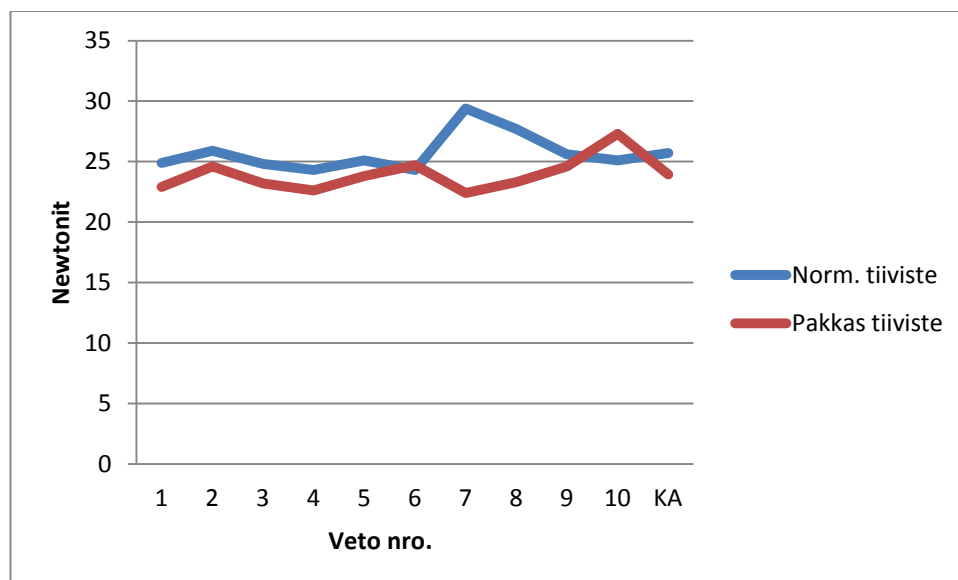
Kuvio 22. Liukukitkan keskiarvon F_{Ka} muutos vetonopeuden muuttuessa. (pakkastiiviste)

Pakkastiivisteellä kitkavoiman huippuarvon ja liukukitkan keskiarvon välillä havaittiin noin 4 Newtonin lasku nopeuden kasvaessa 6 mm/s. Liukukitkan arvo laski noin 11 Newtonia vetonopeuden kasvaessa 6 mm/s.

Mittauksen johtopäätöksenä voidaan todeta männän liikenopeuden kasvamisen mäntäpaineakuissa vaikuttavan kitkavoimaan laskevasti. Toinen testissä todettu johtopäätös on, että kitkavoiman huippuarvon keskiarvon ja liukukitkan keskiarvon ero eri tiivisteillä oli melko merkittävä. Pakkastiivisteiden kitkakerroin osoittautui huoneenlämmössä huomattavasti pienemmiksi kuin normaaliolosuhteiden tiivisteellä. Kitkavoiman huippuarvojen keskiarvoilla eri tiivisteiden välillä oli eroa noin 21 Newtonia ja liukukitkojen keskiarvoilla ero oli kutakuinkin sama.

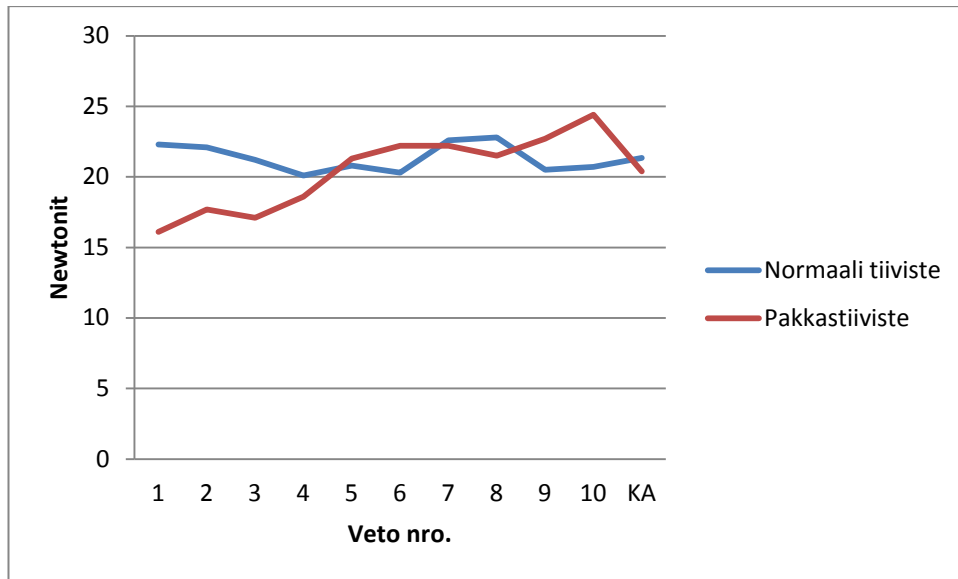
7.2 Mittaus 2: Lämpötilan vaikutus kitkaan eri tiivisteillä

Seuraavassa suoritetussa tutkimuksessa tutkittiin lämpötilan vaikutusta kitkaominaisuuksiin. Paineakkuja säilytettiin yön yli laboratoriossa sijaitsevassa pakastimessa, jolla päästiin noin $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen. Vetonopeus oli 15 mm/s . Normaaliolosuhteiden tiiviste on tarkoitettu toimivaksi noin $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ asti ja pakkastiivistettä käytetään tätä kylmemmissä olosuhteissa käytettävissä mäntäpaineakuissa.



Kuvio 23. F_S -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 50 mm:n sylinteriputkella.

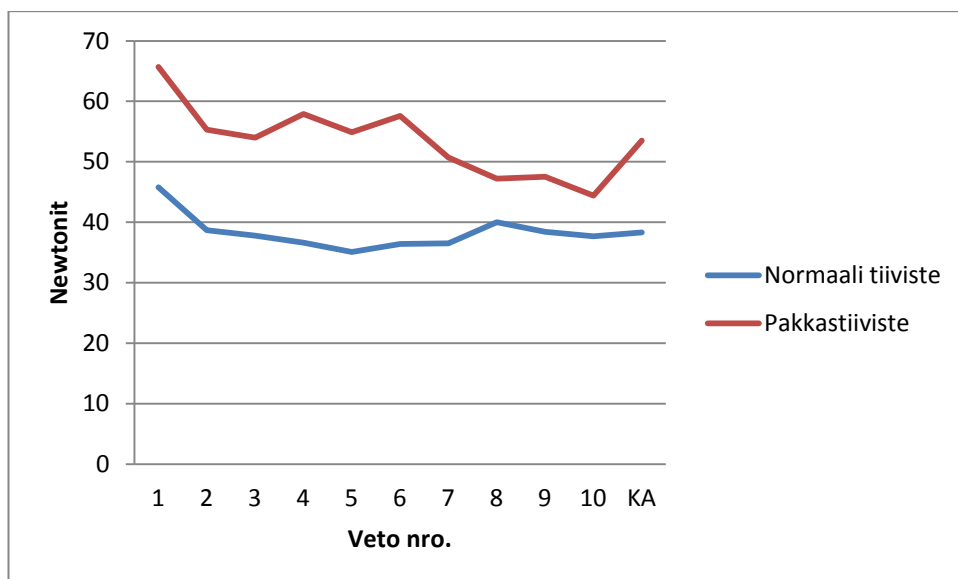
Testissä käy ilmi, että kitkavoiman huippuarvo oli pakkasolosuhteissa käytetyllä tiivisteellä noin pari Newtonia pienempi kuin normaalioloissa käytetyllä tiivisteellä.



Kuvio 24. F_{Ka} -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 50 mm:n sylinteriputkella.

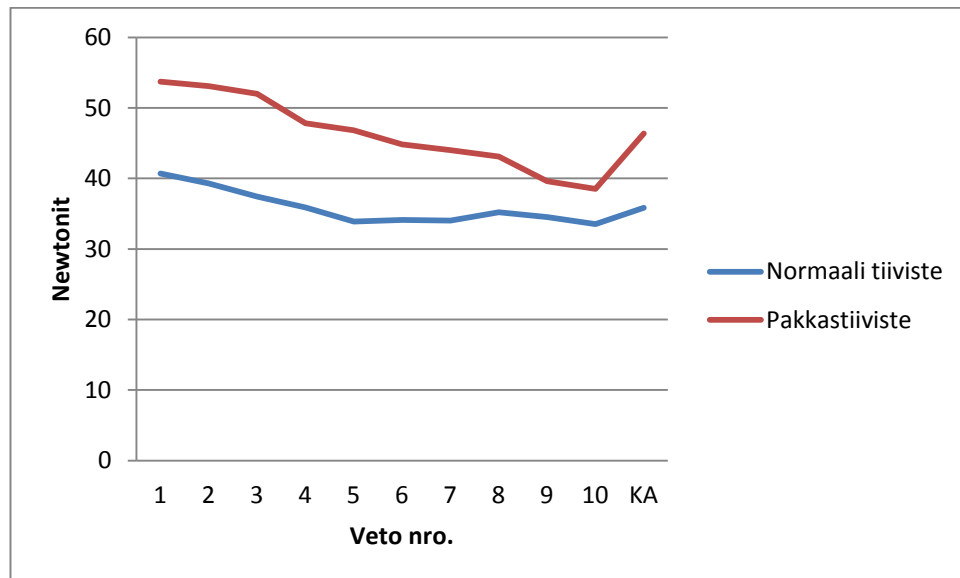
Pakkasolosuhteisiin jäädytetyillä sylinteriputkilla mitattuna liukukitkan keskiarvo 50 mm:n sylintereissä osoitti että pakkastiivisteeseen keskiarvo oli hieman matalampi kuin normaaliolosuhteissa käytettävän tiivisteeseen. Testissä huomattiin, että pakkasolosuhteiden tiivisteellä liukukitka oli alussa matalampi, mutta arvo nousi mittauskertojen kasvaessa normaalitiivisteeseen arvoon ja vähän ylikin.

Sama testi tehtiin myös 80 mm:n sylinteriputkilla samoissa olosuhteissa.



Kuvio 25. F_S -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 80mm:n sylinteriputkella.

Testistä käy ilmi, että 80 mm:n sylinteriputkella normaalitiivisteiden kitkavoiman huippuarvo on huomattavasti matalampi pakkastiivisteeseen verrattuna. Kitkavoiman huippuarvon keskiarvo on noin 15 Newtonia matalampi normaalitiivisteellä.



Kuvio 26. F_{Ka} -arvo pakkasolosuhteissa eri tiivisteillä 80 mm:n sylinteriputkella.

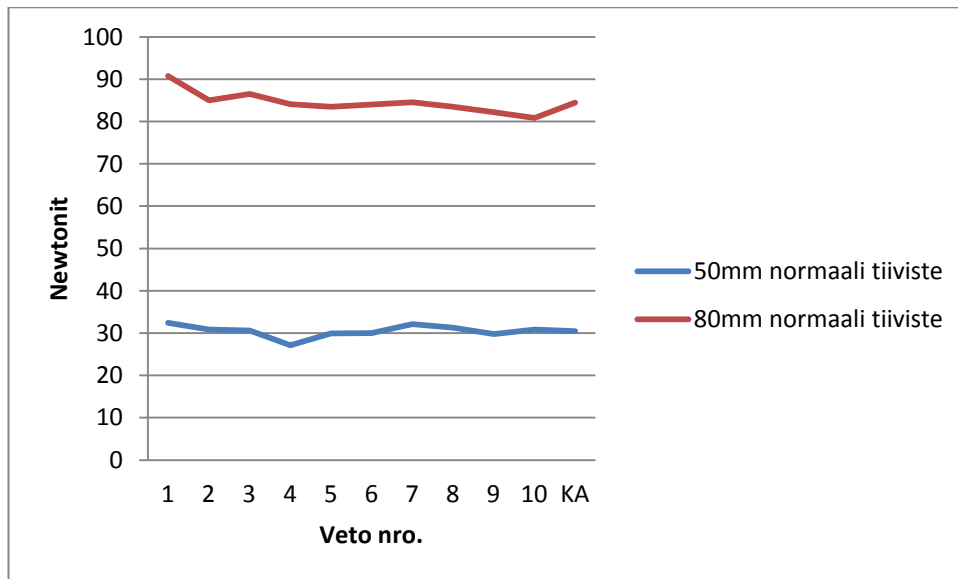
Seuraavassa vaiheessa tutkittiin liukukitkan keskiarvoa pakkasolosuhteissa 80 mm:n sylinteriputkilla. Pakkasolosuhteissa käytetyllä tiivisteellä liukukitkan havaittiin olevan keskimäärin noin 10 Newtonia suurempi.

Yhteenvetona testistä voidaan sanoa, että suuremmalla 80 mm:n sylinteriputkella lämpötilan vaikuttama ero oli selkeämpi kuin vastaavasti pienemmällä 50 mm:n sylinteriputkilla. 80 mm:n sylinteriputkilla havaittiin normaalitiivisteellä olevan keskimäärin noin 12 Newtonia pienempi kitkavoima kuin pakkastiivisteellä. 50 mm:n sylinteriputkilla kitkavoiman erot olivat pienemmät eri tiivistemateriaalien välillä, mutta kuitenkin pakkastiivisteiden kitka-arvojen keskiarvo oli hieman pienempi kuin normaalilla tiivisteellä. Pakkasolosuhteissa kitkavoimien arvot olivat hieman pienemmät kuin normaaliolosuhteissa suoritetuissa mittauksissa.

Lämpötilan muutoksesta johtuvaa lämpölaajentumailmiötä ei otettu laskennallisesti huomioon. On kuitenkin oletettavaa, että lämpölaajenemisen aiheuttama männän, tiivisteiden ja sylinteriputken pieneneminen vaikuttaa testissä saatuihin arvoihin.

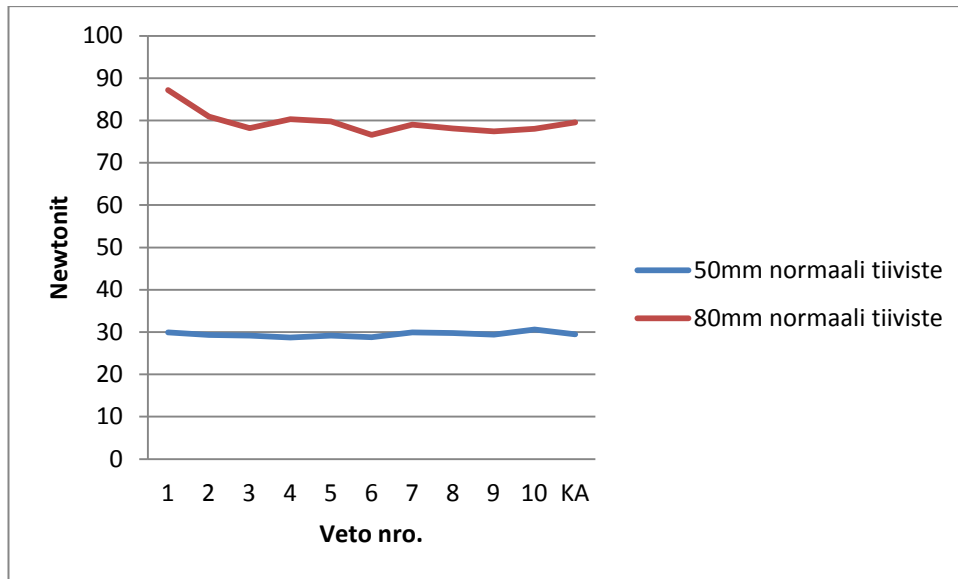
7.3 Mittaus 3: Paineakun halkaisijan vaikutus kitkavoimaan

Viimeisessä tutkimuksessa tutkittiin kitkavoiman arvon muutosta sylinteriputken halkaisijan kasvaessa. Tutkimukset suoritettiin 18 mm/s vetonopeudella, huoneenlämpöisillä sylinteriputkillä.



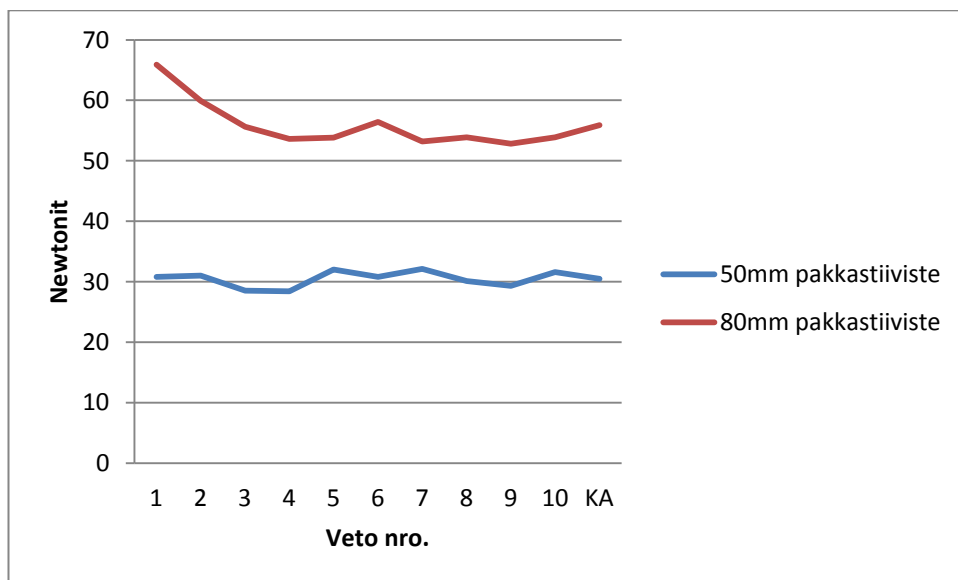
Kuvio 27. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa normaalitiivisteillä.

Tutkimuksesta käy ilmi, että 50 mm:n sylinteriputkillä normaalilla tiivisteillä kitkavoiman huippuarvo F_s on noin 55 Newtonia pienempi kuin 80 mm:n sylinteriputkella normaalilla tiivisteellä.



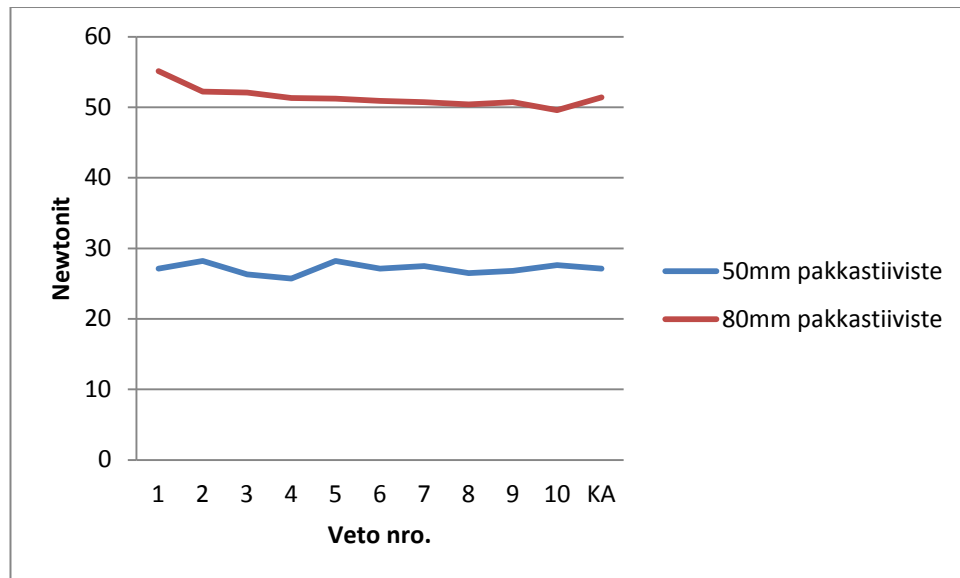
Kuvio 28. Liukukitkan keskiarvon F_{Ka} muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa normaalitiivisteillä.

Liukukitkan keskiarvo F_{Ka} huomattiin olevan keskimäärin noin 50 Newtonia pienempi 50 mm:n sylinteriputkella käytettäessä normaaleja tiivisteitä.



Kuvio 29. Kitkavoiman huippuarvon F_s muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa pakkastiivisteillä.

Pakkastiivisteitä käytettäessä kitkavoiman huippuarvojen keskiarvo oli pienempi kuin normaaleilla tiivisteillä. 80 mm:n sylinteriputken pakkastiivisteellä kitkavoiman huippuarvo vaihteli melko suuresti ja arvo laski vetokertojen myötä. Keskimääräinen ero oli noin 25 Newtonia.



Kuvio 30. Liukukitkan keskiarvon F_{Ka} muutos sylinteriputken halkaisijan muuttuessa pakkastiivisteillä.

Liukukitkan keskiarvo pakkastiivisteillä oli 50 mm:n sylinteriputkella noin 23 Newtonia pienempi kuin 80 mm:n sylinteriputkella.

Yhteenvedona testistä voidaan sanoa, että sylinteriputken halkaisijan muutos vaikuttaa melko paljon kitkavoiman suuruuteen. Eroon saattaa vaikuttaa isommassa sylinteriputkessa käytetyn isomman männän suurempi massa, joka lisää kitkavoiman määrää, mutta tiivisteiden tiivistyspinta-ala on myös suurempi isommissa sylinteriputkissa.

Eri tiivistemateriaalien välillä huomattiin, että normaaliolosuhteiden tiivisteellä halkaisijan muutos vaikuttaa enemmän kuin pakkastiivisteellä. Tulokset saattaisivat muuttua hieman erilaisiksi, jos testi tehtäisiin jäähdytetyillä kokoonpanoilla.

8 Mittausten yhteenveto

Testausten tuloksista käy ilmi, että lähes jokaisella testauksella vetojen lukumäärän kasvaessa kitkavoiman suuruus hieman laskee. Tämän voidaan olettaa johtuvan kitkan aiheuttamasta lämmöstä, joka vaikuttaa tiivistemateriaalin ominaisuuksiin ja öljykalvon muutoksiin vetokertojen kasvaessa.

Kun vetonopeutta varioitiin, havaittiin että nopeudella on vaikutusta kitkavoimaan. Aiemmassa teoriaosuudessa kitkan ominaisuuksia käsiteltäessä todettiin että liikkeen nopeudella pitäisi olla hieman kitkaa alentava vaikutus, joka testissä kävi ilmi.

Kitkavoiman huippuarvo F_S sekä liukukitkan keskiarvo F_{Ka} laskivat nopeuden kasvaessa molemmilla tiivistemateriaaleilla hieman. Vetonopeuden muutos vaikutti hieman enemmän pakkastiivisteellä.

Lämpötilan muutosta tutkittaessa huoneenlämmön ja pakkasolosuhteiden välillä havaittiin kohtalaisen suuria eroja. 80 mm:n sylinteriputkella kitkavoiman huippuarvojen muutos ja liukukitkan keskiarvojen muutos käyttäytyi melko yhdenmukaisesti keskenään. Yllättävä havainto oli että pakkasolosuhteisiin tarkoitettulla tiivisteellä kitkavoiman arvot olivat suuremmat kuin normaaliolosuhteiden tiivisteellä. Pienemmällä 50 mm:n sylinteriputkella erot eivät olleet yhtä suuria eri tiivisteiden välillä. Kitkavoimien keskiarvot olivat pakkastiivisteellä hieman pienemmät normaaliolosuhteiden tiivisteeseen verrattuna. Lämpölaajenemisen aiheuttamaa tekijää testissä ei otettu tarkemmin huomioon. Kaikilla tiivisteillä kitkavoiman havaittiin olevan hieman pienempi pakkasolosuhteissa kuin huoneenlämmössä.

Viimeinen testi käsitteli kitkavoiman eroa samoilla tiivistemateriaaleilla sylinteriputken halkaisijan muuttuessa. Testi osoitti odotetun kaltaisesti männän halkaisijan kasvaessa kitkavoiman suuruuden myös kasvavan. Ero johtuu todennäköisesti suuremman männän massan vaikutuksesta sekä tiivisteiden tiivistyspinta-alan suuremmasta määrästä. Eri tiivistemateriaalien välistä muutosta tutkiessa huomattiin männän halkaisijan muutoksen vaikuttavan enemmän normaalilla tiivisteellä. Keskimääräinen ero suuremman ja pienemmän sylinteriputken välillä oli hieman yli 20 Newtonia.

Mittaukset osoittivat että haluttuja eroja saatiin aikaan eri mittausten välillä. Oli etukäteen oletettavaa että eri tiivistemateriaalit käyttäytyvät eri tavalla eri olosuhteissa ja eri nopeuksilla. Mittausta tehtäessä tietyllä kokoonpanolla havaittiin peräkkäistenkin vetojen välillä olevan hieman heittoa. Luotettavamman mittaustuloksen saamiseksi on tärkeää tehdä useita vetoja ja tutkia saaduista mittauksista saatuja keskiarvoja. Alussa suoritettujen tutkimusten vetojen keskinäisestä heitoista samalla mittauskokoonpanolla mitattaessa perusteella voidaan todeta että on erittäin oleellista että öljyn määrä sylinteriputken seinämällä olisi kutakuinkin sama mittaustulosten vertailtavuuden kannalta.

9 Projektin yhteenveto

Tekemäni opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen monelta eri osa-alueelta katsottuna. Työn alussa paineakku oli tuttu käsite, mutta käytännön näkemystä tai kokemusta kyseisistä komponenteista ei minulla ollut.

Alustavassa työpalaverissa tutustuimme paineakkujen tuotantoon Lapualla Hydroll Oy:n tuotantotiloissa. Oli erittäin mielenkiintoista päästä näkemään käytännön valmistustyötä ja työvaiheita, jotka antoivat näkemystä tulevan työn piirteistä.

Työn alkuvaiheessa kävi ilmi, että Hydroll Oy:llä ei ole menetelmää, jolla tuotteissa käytettyjen tiivisteiden ominaisuuksia pystyisi tutkimaan ja näin ollen tekemään laadunvalvontatyötä sekä omille tuotteille että ostettujen komponenttien osalta.

Laitetta suunniteltaessa pohdittiin hyvin erilaisia ratkaisuja mittauksen järkevän toteutustavan ja mittauslaitteiston rakenteen suunnittelun näkökulmasta. Mäntä-paineakkuja valmistavia yrityksiä ei maailmassa ole kovin montaa tällä hetkellä ja kyseisen asian selvittäminen toisi suurta lisäarvoa tuotekehitystutkimuksen kannalta.

Työn alkutaipaleella selvitettiin eri tapoja mitata voimaa ja haarukoitiin sopivia vaihtoehtoja mittauksen toteuttamiseen. Monia vaihtoehtoja suljettiin pois hyvin pian ja S-mallinen voima-anturit tuli ensimmäiseksi vaihtoehdoksi. Voima-anturiksi valittiin Siemensin valmistama S-mallinen load-cell-anturi. Anturin maksimikuormitus oli 50 kg, joka on hyvin järkevä tekemiemme mitattavien voimien haarukoinnissa. Konsultoituani muutamaa opettajaa mittaustiedon saamiseksi graafiseen muotoon, kävi nopeasti ilmi että Tekniikan yksikössä on tähän käyttöön hyvin soveltuva LabView-ohjelmisto hankittuna. Kyseisen ohjelman käyttäminen tuntui heti luontealta ratkaisulta ja sain hyviä neuvoja ja opastusta ohjelman kanssa. Ohjelmasta saatiin kätevästi kalibroitua anturi betonilaboratoriosta lainaamillani kalibroiduilla punnuksilla, mittausdatasta saatiin graafisia kuvaajia sekä mittausdata saatiin siirrettyä suoraan Excel-taulukkoon.

Työssä keskeinen osa-alue oli männän sujuva vetäminen sylinteriputken sisällä. Alussa pohdinnassa oli hydraulikkasyylinteri, joka kuitenkin osoittautui melko hankalaksi vaihtoehdoksi ja vaatisi kalliin hydraulikoneikon ja erillisen ohjausventtiilin toimintaa varten. Melko pian päätettiin alkaa pohtia sähköisellä laitteella saavutettavaa lineaariliikettä, jossa riittäisi voimaa männän sulavaan liikkumiseen. Aluksi pohdittiin lineaariservomoottoria tai kuularuuvisovelluksen rakentamista, mutta lopullinen päätös siirtyä karamoottorin käyttöön syntyi sen yksinkertaisuudesta. Karamoottorin nopeutta ja suuntaa oli erittäin helppo säätää sekä sen käyttöön tarvittava tehonlähde oli Tekniikan yksikössä valmiina. Tehonlähde osoittautui myöhemmin alimitoitetuksi käyttämään karamoottoria sulavasti ja uusi tehonlähde jouduttiin hankkimaan.

Testipenkin suunnitelmat tehtiin Solid Edge -ohjelmalla, jonka jälkeen 3D-kuvista ja 2D-kuvista tehtiin valmistuspiirustukset. Aluksi sovimme kone- ja tuotantotekniikan opettajan kanssa että testipenkin mekaaninen rakentaminen toteutettaisiin kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoiden toimesta. Penkin valmistumista odoteltiin lähes 2 kuukautta mutta projektia ei saatu työn alle. Lopulta päätettiin lähettää piirustukset konelaboratorion laboratorioinsinööreille, joka leikkasi tarvittavat levyt laserleikkurilla 6 mm:n teräslevystä. Levyt ja karamoottorin telineen hitsasin itse kasaan.

Kun testipenkin mekaaninen rakenne oli saatu kasaan, jäätiin odottelemaan voima-anturin toimitusta. Toimitus venyi odotettua pitemmäksi, mutta lopulta anturin saavuttua mittauspenkin testaus saatiin aloitettua. Testauksen alussa tutkittiin että mekaaninen rakenne toimii ja vetolaite pystyy sujuvasti liikuttamaan mäntää sylinteriputkessa. Vetovoima välitetään tangon välityksellä, jonka väliin lisättiin nivel kompensoimaan mahdollista vinoa vetoa.

Anturin saavuttua aloitettiin kalibrointi tarkkaan kalibroiduilla punnuksilla. Punnuksen avulla saatiin arvot säädettyä kohdalleen LabView-ohjelmassa. Kun kalibrointeja oli suoritettu useaan kertaan, päätettiin anturi sijoittaa testipenkkiin vetotangon väliin.

Vetoja suoritettiin erilaisilla kokoonpanoilla monia ja tulokset dokumentointiin Excel-taulukoihin. Jokaisella kerralla ennen vedon aloitusta sylinteriputkeen kaadettiin runsaasti öljyä ja öljyn annettiin levitä sylinteriputkeen kauttaaltaan.

Mittauksia suoritettaessa heräsi ajatuksia, kuinka laitteistoa voisi kehittää tulevaisuuden tutkimuksia varten. Anturin sijoitus voisi mahdollisesti olla vetolaitteen perässä, jolloin voima kohdistuisi anturiin vetolaitteen välittämänä. Kyseinen uudistus saattaisi helpottaa ainakin männän työntämistä sylinteriputkessa takaperin seuraavaa vetoa varten, eikä anturiin kohdistuisi vääristä asennoista tulevaa kuormitusta tangon välissä olevan nivelen notkahtaessa väärään asentoon.

Opinnäytetyössä suunniteltua ja rakennettua testauslaitteistolla on omasta mielestäni hyötyä Hydroll Oy:n tuotekehitystyössä sekä laadunvalvonnassa. Kitkavoiman suuruus on merkittävä tekijä mäntäpaineakun toiminnassa. Tiivisteillä on kuitenkin oltava tarpeeksi hyvä tiivistämisominaisuus, joka tuskin olisi mahdollista ilman että tiiviste saisi aikaan tiettyä kitkavoimaa sylinteriputken sisäpintaan. Tähän asti yrityksellä ei ole ollut mahdollista selvittää tiivistetoimittajien tuotteiden ominaisuuksia eikä toimittajien laadun tasaisuutta. Tulevaisuudessa on mahdollista tutkia esimerkiksi eri tiiviste-erien keskinäisiä eroavaisuuksia sekä antaa asiakkaille tietoa kitkavoimien suuruudesta.

Työn edetessä tuli oleelliseksi miettiä työn rajaamista tiettyyn laajuuteen. Aloitusvaiheessa oli tarkoituksena tehdä enemmän mittauksia valmiilla laitteistolla, mutta rajallisen ajan puitteissa keskityttiin luomaan testauslaitteisto ja menetelmä myöhemmässä vaiheessa suoritettavia tutkimuksia varten. Työssä tehtiin mittauksia, jotka antoivat tietoa laitteiston ja menetelmän toimivuudesta. Suoritettaessa testauksia on oleellista että toistoja tulee todella paljon. Kaikilla mahdollisilla erilaisilla kokoonpanoilla testattaessa tulosten määrä olisi tullut liian suureksi kirjattavaksi tähän työhön. On myös oleellista suorittaa tutkimuksia saman tiivisteen eri erien välillä laadun tasaisuuden varmistamiseksi. Kyseinen tutkimus tulee tehdä useilla eri tiivistemateriaaleilla sekä eri kokoisilla tiivisteillä.

LÄHTEET

Aho, K. 1975. Tribologia. Teoksessa: J, Leskinen (päätt). Tekniikan käsikirja 8, Jyväskylä: K.J. Gummerrus Oy 130 - 137

Hautala, M. & Peltonen, H. 2009. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 1. Lahti: Lahden teho-opetus OY

Hydroll. 2012. Company. [www-dokumentti]. Hydroll Osakeyhtiö. [Viitattu 7.11.2012]. Saatavissa: <http://www.hydroll.fi/company/>

Hämäläinen, A. Kokeellista fysiikkaa luokanopettajalle. [Verkkojulkaisu]. Helsingin yliopisto. 2008. [Viitattu 28.11.2012] Saatavissa: http://per.physics.helsinki.fi/luokanop/yhteiset/aloitus_mekan/luento_10_6_08.html

Ikonen, E. Lehto, A. Wallin, P. & Äijälä, A. 2000. Anturitekniikan perusteita. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto, mittaustekniikan laboratorio

Jansson, E. 1999. Sääntötekniikka 2000. Iisalmi: IS-VET 2000

Johdevoiteluöljyt. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.12.2012]. Saatavissa: <http://files.kotisivukone.com/ektyokalut.palvelee.fi/tiedostot/CC-kemikaalit/voitelu/johdevoitelut.pdf>

Kauranne, H. Kajaste, J. & Vilenius, M. 1996. Hydraulikan perusteet. Porvoo: WSOY

Kivioja, S. 2006. Toleranssit ja pinnankarheus. Espoo: Tuotekehitysklubi

Kompo2010. 2012. [Verkkojulkaisu]. Tangient LLC [Viitattu 28.11.2012] Saatavissa: <http://kompo2010.wikispaces.com/Venym%C3%A4liuska>

Linak 2013. Company. [www-dokumentti]. Linak Osakeyhtiö. [Viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: <http://www.linak.fi/Yleista/?id3=4975>

Mäkelä, M. Soininen, L. Tuomola, S. & Öistämö, J. 2008. Tekniikan kaavasto. Tampere: AMK.kustannus Oy

Omega.com 2013. [verkkosivusto]. Omega Engineering inc [Viitattu13.3.2013].
Saatavissa: <http://www.omega.com/prodinfo/loadcells.html>